

MÉMOIRE DE RECHERCHE

Présenté pour l'obtention du **DIPLÔME D'ÉTUDES
APPROFONDIES**

Economie du développement agricole, agro-alimentaire et rural

Régulation d'une filière d'exploitation d'une ressource renouvelable : le bois énergie au Niger

Une approche par systèmes multi-agents et simulations

Par Martine ANTONA

Direction scientifique : J.M. Boisson.

Equipe d'accueil : Département CIRAD- TERA,

Equipe Espace et Ressources

RESUME

La régulation des usages des écosystèmes forestiers tropicaux fait l'objet de débats qui s'inscrivent dans un arbitrage environnement- développement. Les débats théoriques concernant cet arbitrage sont marqués par la prégnance du cadre d'analyse néoclassique qui aborde les conditions dans lesquelles une allocation optimale de ces ressources peut être réalisée. La suppression de l'accès libre aux ressources et l'instauration de mécanismes destinés à inciter les agents économiques à prendre en compte la valeur de ces ressources sont proposés sur la base d'une approche normative. Du point de vue des politiques forestières mises en place dans les pays en voie de développement, se posent les questions de l'efficacité des instruments préconisés et de l'arbitrage entre des intérêts multiples. Le cas étudié dans ce mémoire est celui d'une politique mise en œuvre au Niger depuis la fin des années 80 pour une gestion durable du bois-énergie. Un modèle stylisé de la filière d'exploitation du bois énergie a été réalisé. Il est utilisé pour représenter le fonctionnement d'instruments de gestion de ces ressources et en simuler les effets. La modélisation réalisée utilise le formalisme des systèmes multi-agents. A la différence des représentations classiques qui agrègent les comportements d'agents homogènes en un «agent représentatif» et ne modélisent pas les interactions entre acteurs, ce modèle tente de considérer le rôle de l'hétérogénéité des acteurs et du mode d'organisation des échanges sur l'efficacité des instruments mis en œuvre à divers stades de la filière: quotas d'exploitation, taxes à la commercialisation, et zonage de l'espace.

Mots –clefs : Forêts,

UNIVERSITE MONTPELLIER I

UFR Sciences Economiques

Espace Richter - Avenue de la Mer – Bât. C – BP 9606

34054 MONTPELLIER CEDEX 1

TEL : 04 67 15 84 50

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
<u>PREMIÈRE PARTIE. ANALYSE ÉCONOMIQUE DE L'EXPLOITATION ET LA CONSERVATION DES RESSOURCES RENOUVELABLES.....</u>	6
1.1. LE CADRE THÉORIQUE.....	6
<i>111. Nature des problèmes de gestion des ressources et recommandations théoriques.....</i>	<i>8</i>
A. Un problème de défaillance du marché dans la coordination des intérêts	8
B. Un problème d'accès libre lié à la nature des ressources et aux incitations individuelles.....	11
C. Application aux forêts tropicales	13
<i>112. Les instruments des politiques de gestion des ressources renouvelables.....</i>	<i>15</i>
A. Recommandations théoriques sur le choix des instruments	15
B. Rôle du contexte de mise en œuvre des instruments.....	16
12. LES OUTILS DE MODÉLISATION.....	19
<i>121. Les deux « paradigmes » de la modélisation de la gestion des ressources renouvelables.....</i>	<i>19</i>
<i>122. Modèles empiriques.....</i>	<i>21</i>
<i>123. Modèles analytiques</i>	<i>21</i>
A. Modèles d'optimisation.....	21
B. Les modèles de systèmes dynamiques.....	22
C. Application : les modèles de ressources renouvelables	23
13. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE TRAVAIL	25
<i>131. Problématique</i>	<i>26</i>
<i>132. Démarche choisie : la simulation.....</i>	<i>27</i>
A. Présentation	27
B. Niveau d'analyse et observation du système.....	28
CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE.	29
<u>PARTIE II. CONTEXTE EMPIRIQUE : LA POLITIQUE DE GESTION DES RESSOURCES FORESTIÈRES AU NIGER.....</u>	31
21. ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS AU NIGER : UN CAS DE SUREXPLOITATION DES RESSOURCES ?	32
<i>211. Le constat : écosystèmes et exploitation.....</i>	<i>32</i>
A. Modes d'exploitation des écosystèmes forestiers au Niger	32
B. Filière et demande à long terme.....	33
<i>212. Le contexte institutionnel et les politiques de gestion des ressources forestières.....</i>	<i>34</i>
A. Forêts et droits sur les forêts au Niger.....	34
B. Des politiques aux résultats mitigés.....	35

22. DES SOLUTIONS NOUVELLES ?	37
221. <i>Des instruments incitatifs : taxe différentielle et marchés ruraux.....</i>	37
A. Un système de taxation différentielle	38
B. Une logique de redistribution des revenus et de transfert des droits	39
C. La création de marchés ruraux	40
222. <i>Des instruments réglementaires</i>	41
A. Définition des zones d'intervention.....	41
B. Mise en place de quotas globaux	42
23. LES RÉSULTATS DE LA POLITIQUE	43
231. <i>Les effets sur la ressource, le marché, la filière.....</i>	43
232. <i>Evaluation de l'aspect incitatif des instruments.....</i>	44
A. Pour les opérateurs de la filière.....	44
B. Pour l'Etat.....	45
C. Pour les paysans.....	45
D. Des difficultés de mise en œuvre.....	46
CONCLUSION DE LA SECONDE PARTIE	47
<u>PARTIE III. MODÈLE STYLISÉ DE TERRAIN ET SIMULATIONS.....</u>	48
31. MODÈLES DE SIMULATION MULTI-AGENTS (SMA) ET GESTION DES RESSOURCES	48
311. <i>Construction d'un modèle SMA</i>	49
A. Agents et environnement	49
B. Interactions.....	50
C. Organisation.....	50
312. <i>Observation du système et simulation.</i>	51
32. UNE MODÉLISATION DE LA FILIÈRE BOIS-ÉNERGIE.	53
321. <i>Mise en œuvre.....</i>	53
A. Hypothèses du modèle	54
B. Agents, Attributs et Méthodes	55
C. Déroulement d'une simulation	59
D. L'observation.....	60
322. <i>Les différentes simulations : 3 scénarios.....</i>	60
A. Scénario 1 : modèle de base.....	60
B. Scénario 2 : zonage et quotas	60
C. Scénarios 3 et 4: Fiscalité.....	61
33. LES RÉSULTATS	61
331. <i>Tests du modèle sur le scénario de base.....</i>	62
A. Test de sensibilité aux paramètres aléatoires	62
B. Test de la sensibilité aux différents paramètres.....	64

332. <i>Les résultats de simulation</i>	65
A. Scénario de base – Sans Instruments.....	65
B. Scénario avec quotas par zones.....	67
C. Scénario avec taxes sur les transporteurs.....	71
34. DISCUSSION – PERSPECTIVES ET USAGE DU MODÈLE	75
<u>CONCLUSION</u>	<u>77</u>
<u>ANNEXES</u>	<u>79</u>
Annexe 1 : Rappel du cadre d'analyse de la théorie néo-classique.....	79
Annexe 2. Quelques modèles de déforestation couvrant la zone sèche en Afrique.....	80
Annexe 3 : Importance des marchés ruraux dans la consommation au Niger	80
Annexe 4 : carte des zones forestières et marchés ruraux au Niger	81
Annexe 5 : Définition d'un système multi-agents et d'un agent	82
Annexe 6. Sugarscape.....	83
<u>LISTES DES TABLEAUX</u>	<u>84</u>
<u>LISTES DES FIGURES</u>	<u>84</u>
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	<u>86</u>

Introduction

Les 30 dernières années ont été marquées par une prise de conscience des impacts des activités économiques sur les milieux naturels et la recherche de stratégies de développement permettant de contrôler ces impacts. Au niveau national comme international, l'élaboration de politiques visant à réguler l'occupation et l'exploitation des écosystèmes est au centre des débats.

Pour les écosystèmes forestiers, le débat revêt, dans le cas des pays en voie de développement, une dimension forte d'arbitrage entre environnement et développement. Face à des enjeux écologiques largement médiatisés, depuis la déforestation aux risques environnementaux globaux qu'elle occasionne, sont mis en exergue le rôle économique et social de l'exploitation locale de ces ressources et la difficulté de qualifier la « valeur » des milieux naturels, valeur écologique, économique, sociale. L'incertitude scientifique, l'importance des conflits d'intérêts et la nature du processus de décision collective jouent un rôle important dans cet arbitrage. Dans ce contexte, la légitimité d'action passe par un accord sur les instruments des politiques à mettre en œuvre.

Le débat a ensuite une dimension théorique. La question de l'intégration de l'environnement dans l'analyse des choix économiques est récente. Diverses approches et méthodes fournissent un cadre d'analyse pour traiter de la tension entre rareté et allocation des ressources naturelles et recommander des solutions. Un examen de la littérature montre que la théorie néo-classique de l'échange marchand comme mécanisme de coordination des intérêts, est un cadre dominant de représentation des problèmes et de proposition des solutions pour atteindre une norme d'intérêt général qu'elle définit.

Surexploitation des ressources renouvelables, dégradation et conversion des écosystèmes sont analysés comme des défaillances du marché dans l'allocation des ressources, l'usage de ces ressources n'étant pas ou peu régulée par un système de prix. Les ressources renouvelables apparaissent pour les agents comme gratuites ou disponibles à un prix qui ne rend pas compte du coût de leur usage pour la collectivité. Les solutions et instruments qu'elle propose visent à restaurer les conditions de fonctionnement du marché comme mécanisme d'allocation et de régulation des usages de ces ressources, par l'ajustement des incitations individuelles propres aux agents de l'économie.

Jusqu'au début des années 70, cette approche a largement inspiré l'analyse des problèmes de gestion des ressources renouvelables et les instruments des politiques mis en œuvre. Depuis, d'autres approches se développent notamment sur la base d'une remise en cause empirique et analytique des hypothèses de base de la théorie néo-classique.

Alors que la théorie néo-classique se situe dans une perspective normative, ces approches qu'il s'agisse de l'éco-développement, de l'économie écologique ou de l'« école des communs » adoptent une perspective plus analytique et descriptive de la décision collective et des processus d'élaboration des choix sociaux relatifs aux ressources.

Le cas d'une politique de gestion du bois énergie au Niger.

Ce mémoire s'intéresse aux effets des instruments de politiques utilisés pour concilier une gestion viable à long terme des écosystèmes forestier et répondre aux besoins qui s'expriment envers ces ressources.

Le contexte empirique de ce travail est celui d'une politique nationale mise en œuvre depuis la fin des années 80 au Niger, en vue d'une meilleure allocation des ressources forestières. Les instruments promus visent à modifier les pratiques de gestion et d'exploitation de la ressource bois qui fait l'objet d'une demande croissante et d'usages multiples.

La demande évolue tant quantitativement que dans sa forme : l'exploitation des écosystèmes forestiers, d'abord liée aux besoins d'espaces agricoles se tourne vers la fourniture de bois pour les besoins énergétiques de populations essentiellement urbaines. Les usages multiples recouvrent la consommation des ressources forestières (de la collecte de bois-énergie, fruits, fourrage à la possible utilisation du bois pour la production d'énergie électrique) mais aussi la production de services environnementaux (stockage du CO₂, rôle dans le maintien de ressources hydriques utilisées par l'agriculture). Ces écosystèmes, constituent une richesse importante susceptible de participer pour peu qu'elle soit bien gérée au développement économique (Point 90).

Au centre de cette politique se trouve donc l'arbitrage entre différents usages alternatifs des écosystèmes, entre différents produits et services, entre intérêts concurrents, entre droits multiples sur les espaces forestiers joint à l'incertitude sur l'impact environnemental des pratiques de gestion. La prise en compte de ces dimensions amène à se poser la question des principes opératoires et des instruments des politiques publiques.

Problématique

Au départ de ce travail s'est posée la question de l'évaluation de cette politique. Nous nous sommes intéressé au cadre de représentation des problèmes qui avait inspiré les politiques et le choix des instruments et des règles retenues dans le cas du Niger. Nous retrouvions dans le diagnostic effectué une partie des hypothèses retenues par l'analyse néo-classique des phénomènes de surexploitation.

Comment comprendre le fonctionnement des instruments mis en place dans le contexte de l'exploitation du bois énergie ? sur quels critères pouvait-on évaluer les effets de la politique ? Dans un environnement économique et écologique dynamique, quels instruments et règles sont robustes ? Quels outils conceptuels utiliser pour mener cette recherche ? En délaissant l'évaluation classique des politiques et de la valeur des écosystèmes naturels, nous avons choisi une approche utilisant la modélisation multi-agent afin de simuler le fonctionnement des outils et d'évaluer leur résultat.

Méthode

Les modèles multi-agents sont utilisés et notamment au Cirad pour traiter de la question de l'usage des ressources renouvelables et des règles gouvernant les interactions entre des acteurs économiques et leur environnement.

Dans le contexte que nous étudions, trois éléments nous paraissaient devoir être considérés pour évaluer les effets des instruments.

- d'une part une ressource forestière dynamique qui évolue à long terme en intégrant les effets de l'exploitation aux temps précédents ,
- d'autre part le rôle de l'espace comme support des interactions entre agents, les externalités ayant ici une dimension locale importante
- enfin l'organisation d'agents hétérogènes dans une filière économique comportant plusieurs stades : la collecte, la commercialisation, la consommation.

La modélisation choisie nous a permis de nous affranchir des hypothèses très restrictives de l'analyse néo-classique d'environnement stable, d'agents homogènes sans interactions directes, tout en retenant pour une première version du modèle présenté ici, les hypothèses standards de comportement des agents.

Nous avons donc élaboré un modèle stylisé du contexte d'exploitation du bois énergie et de ses échanges au sein d'une filière pour simuler ensuite le fonctionnement d'instruments de gestion de cette ressource.

Démarche suivie

La démarche que nous avons suivie est exploratoire et méthodologique. Elle a été menée en plusieurs étapes :

1. une analyse du champ théorique applicable aux problèmes de la gestion des ressources renouvelables ;
2. une étude de la politique mise en œuvre en montrant comment les hypothèses théoriques ont influencé la recherche de solution proposées : ce repérage du contexte actuel s'appuie sur une revue bibliographique des études économiques de la filière bois-énergie et des analyses du bilan de la politique. Ces informations ont été traduites sous forme d'hypothèses et de données caractérisant la filière et de la dynamique de la ressource ;
3. une modélisation de la situation de base et des différentes solutions mises en place en reprenant les hypothèses de base des comportements rationnels des agents et en les situant dans une organisation économique qui est celle de la filière ; Le modèle construit par étape comprend une filière et un milieu « virtuels » inspirés d'hypothèses de comportement des agents, de dynamique de la ressource et de descriptions du terrain.
4. Des simulations, à l'aide du modèle, du fonctionnement des instruments de la politique : des instruments réglementaires (un zonage de l'espace exploité, des quota d'exploitation), un instrument économique (un système de taxation). Un dernier instrument de la politique, la création de marchés où peuvent s'effectuer des transactions sur le bois à usage d'énergie domestique, n'a pu être traité dans ce modèle.
5. une observation et un début d'analyse des résultats du modèle en référence à la situation observée sur le terrain.

Plan du mémoire

La première partie présentera le cadre théorique néo-classique de représentation des problèmes d'allocation des ressources et les solutions préconisées, ainsi que les modélisations utilisées dans ce cadre.

Une seconde partie étudiera la mise en œuvre d'un cas de politique de gestion des ressources renouvelables. Le cas étudié sera celui des écosystèmes forestiers au Niger où se pose un problème de conciliation entre une gestion viable à long terme d'écosystèmes forestiers fragiles que sont les forêts sèches et l'exploitation du bois énergie.

Une troisième partie présentera le modèle réalisé et les premiers résultats obtenus.

Première partie. Analyse économique de l'exploitation et la conservation des ressources renouvelables

Cette partie s'intéresse au cadre théorique de l'analyse des problèmes de gestion des ressources renouvelables. L'intérêt pour les ressources renouvelables s'est manifesté dès les réflexions des économistes classiques sur la production de richesses et les débats sur la valeur de ces ressources, liée à leur coût d'extraction ou à une rente payée à un propriétaire (cf. Passet 1979, Romagny 1996).

Le renouvellement d'intérêt de la science économique pour les ressources renouvelables date des années 70 (Faucheux et Noël, 1975). Il est porté par l'extension¹ au cas des biens naturels² de la théorie néo-classique, applicable aux biens privés, de l'échange marchand comme mécanisme d'allocation des ressources. Cette théorie propose un cadre normatif de représentation des processus de décision collective concernant l'exploitation des écosystèmes³. Dans une première section, nous présenterons son influence sur la nature des analyses économiques des problèmes de gestion des ressources, et sur les solutions préconisées.

Le niveau micro-économique d'analyse domine les débats et les travaux. Les analyses économiques de l'allocation des ressources sont le plus souvent sectorielles et utilisent un cadre d'équilibre partiel. Les modèles utilisés feront l'objet d'une seconde section.

1.1. Le cadre théorique

L'absence de maîtrise des conséquences collectives du développement des activités humaines est au centre des débats théoriques sur les ressources renouvelables. Du point de vue empirique, surexploitation des espèces, dégradation des écosystèmes et des habitats, conversion des écosystèmes en sont les dynamiques les plus fréquemment mentionnées.

¹ la qualification de cette approche (en extension ou en compréhension) est discutée dans un n° spécial de la revue INRA Environnement, notamment par J.P. Amiques et O. Godard

² Pour ces biens naturels définis comme des biens spécifiques, les concepts économiques en usage pour l'étude de l'allocation de moyens rares à des fins alternatives sont utilisés : un bien naturel est une ressource quand il entre dans la définition d'une fonction d'utilité d'un agent économique, les préférences individuelles sont les critères d'évaluation des changements dans la disponibilité ou l'usages des biens. Préférences, techniques, fonction des écosystème sont des données du problème économique (Guerrien 1996, Godard 1992a).

³ Pour une présentation des autres courants de pensée, éco-développement ou ecological economics notamment (cf. O. Godard 1992a).

Les problèmes de coordination des usages de ces ressources ont fait l'objet d'une abondante littérature économique, qui s'appuie essentiellement sur les concepts, méthodes et hypothèses de la théorie néo-classique⁴. L'analyse porte sur les défauts de coordination d'acteurs rationnels, poursuivant leur intérêt individuel, dans un contexte où la coordination par le marché ne permet pas d'atteindre l'efficacité dans l'allocation des ressources. Les situations constatées et non souhaitables du point de vue de la collectivité sont identifiées comme des situations non efficaces au sens de Pareto, l'allocation paretienne constituant la norme à atteindre (cf. annexe 1).

Pour expliquer la nature du problème et rechercher des solutions, l'analyse s'est centrée sur les causes des défauts de coordination, c'est à dire la présence d'externalités. L'existence d'externalités invalide le premier théorème de l'économie du bien être pour lequel le dilemme économique de la rareté et de l'allocation des ressources peut être résolu par la concurrence : le marché est « défaillant » car il existe des gains mutuels au libre échange qui ne sont pas exploités par les agents. Différentes solutions théoriques sont proposées selon l'origine des externalités : absence de marché et interdépendance des usages ou nature de la ressource et déficit d'appropriation. Ces solutions passent par le rétablissement des conditions dans lesquelles un marché concurrentiel peut opérer de façon efficace. Pour cela, les recommandations portent sur l'internalisation ou la « marchandisation » des externalités (Guerrien, 1996), pour réguler les comportements individuels.

Cette approche fonde en partie les instruments mis en œuvre dans les politiques de gestion forestière, que nous présenterons dans un second temps. L'efficacité de ces instruments suppose que le contexte d'application soit considéré, ce que les recommandations théoriques envisagent peu.

⁴ qui sont repris en partie par des approches alternatives comme celles du courant des « Common Pool Resources »

111. Nature des problèmes de gestion des ressources et recommandations théoriques

Le marché n'est pas en mesure de fonctionner comme un mécanisme de coordination des intérêts en faveur de l'intérêt général dans deux cas : les défaillances du marché dues à la présence d'effets externes⁵ aux relations marchandes; la nature spécifique du bien à l'origine de forts coûts de transaction ou d'organisation du jeu du marché.

A. Un problème de défaillance du marché dans la coordination des intérêts

Effets externes et logique d'internalisation

Les agents économiques agissent en fonction de leur intérêt propre dans le cadre de règles qui peuvent les conduire à ignorer les conséquences collectives de leurs stratégies individuelles: utilisation gratuite d'un bien disponible au simple coût de collecte, fortes interdépendances globales dans l'usage du bien...

Pour Pigou (1920), ces effets sur le bien-être des autres agents sont qualifiés d'externes en l'absence d'une prise en compte par le marché : les externalités peuvent donc être analysées comme une différence entre le coût privé de l'action pour l'agent et son coût social (coût supplémentaire imposé aux autres agents, baisse de leur satisfaction⁶). Comme l'agent économique à l'origine de l'externalité ignore les effets de son action sur les autres, il est nécessaire de lui fournir un signal destiné à lui faire intégrer le coût social de son action, à l'internaliser. Ce signal prend la forme d'une taxe chez Pigou,. Le principe de la taxe optimale « pigouvienne » consiste à la fixer à un montant égal au dommage marginal. Elle crée ainsi une incitation pour cet agent à changer de pratique⁷.

Il n'y a donc pas de logique de compensation de l'effet externe subi, mais une logique d'intervention sur la source de l'effet externe pour le faire disparaître: elle agit en complément du marché. Cette solution est qualifiée de solution de second-best (X

Revenons sur certaines hypothèses:

⁵ Effet externe ou externalité : « (...) désigne toute situation où les activités de un ou plusieurs agents ont des conséquences sur le bien être d'autres agents sans qu'il y ait des échanges ou transactions entre eux. La présence d'externalité se traduit généralement par l'apparition d'inefficiences au sens du critère de Pareto car il n'existe pas a priori de gains pour ceux à l'origine d'externalité positive ni de sanctions pour ceux qui engendrent une externalité négative. (...)» B. Guerrien, 1996 : 208.

⁶ cette interdépendance des fonctions d'utilité traduit la présence d'effets externes.

⁷ La taxe correspond au coût de l'effet externe, c'est à dire différence entre coût social et coût privé. Le prix du bien sur un marché concurrentiel, composé du coût marginal et de la taxe est alors plus proche du coût marginal social du bien.

- Cette approche suppose que l'externalité soit évaluable puisque la taxe doit correspondre à la différence entre coût privé et social. Dans ce cas, il y a disparition de l'effet externe. Mais cette évaluation suppose pour l'autorité en charge de la définition de la taxe de connaître le fonctionnement du système écologique et de connaître la valeur de la ressource (Geniaux, 1998). Ce qui pose problème dans le cas d'une ressource multi-usages dont la valeur est différente selon les divers usagers.
- Elle suppose donc une autorité extérieure à la recherche de l'origine du dommage et qui agit dans l'intérêt public (Godard, 1992a), les agents économiques n'ayant aucune perception du problème.
- Elle ne fait pas mention d'une possible redistribution de la taxe au(x) receptriceur (s) de l'effet externe, qui pourrait faire entrer l'instrument dans une logique de compensation de l'effet externe.

Effets externes et logique de compensation

L'efficacité c'est à dire le caractère pareto-optimal de la solution proposée par Pigou a été contestée selon l'argument suivant : l'internalisation devrait être organisée uniquement dans le cas où elle conduit à une amélioration au sens de l'optimum de Pareto⁸. Dans un article célèbre, R. Coase, (1954) présente plusieurs cas où une solution pigouvienne n'aboutit pas à une telle amélioration : la taxe, payée pour le dommage au tiers, impose à l'émetteur de l'externalité une perte de bénéfices *supérieure* à l'augmentation de bien-être du récepteur permise par la disparition de l'externalité. Le dommage environnemental est bien supprimé mais à un coût social trop fort, en raison de la non symétrie des effets externes.

Pour Coase (1960), seules les externalités qui entraînent une allocation inefficace des ressources posent un problème de coordination des intérêts. Dans ce cas, des gains potentiels d'efficacité sont possibles en modifiant le contexte des interactions entre les agents économiques : une négociation bilatérale directe (décentralisée) entre émetteur et récepteur(s) d'externalité est proposée comme un autre mécanisme d'internalisation, qui permet une efficacité à moindre coût. Le point d'équilibre de la négociation bilatérale fixe l'optimum recherché. Le niveau d'externalité qui résulte de la négociation est optimal au sens de Pareto et peut être non nul, à la différence de la solution pigouvienne. Cette solution repose sur une logique de compensation, d'échange de droits sur la production d'externalité ou encore de « marchandisation » de l'externalité (Guerrien, 1996).

Coase pose deux conditions au fonctionnement de ce mécanisme d'internalisation dans le sens de l'efficience :

- le coût d'organisation d'un tel mécanisme de coordination des intérêts ne doit pas être supérieur au gain d'efficacité que l'on en attend : c'est l'hypothèse des coûts de transaction nuls.

⁸ Notion d'externalité Pareto-relevant définie par Buchanan et al. 1962 in Faucheux *et al.*, 1996

- l'allocation initiale des droits sur la ressource pose à priori la règle de responsabilité donc le sens de la compensation à l'externalité subie ou à l'arrêt de la production d'externalité (Fauchaux et al. 1995). Quand les coûts de transaction sont nuls et en l'absence d'effets revenu, la structure initiale des droits est neutre sur l'allocation des ressources. Cela signifie que la répartition initiale, modifiée par la négociation, est orientée vers l'intérêt de chacun grâce au jeu du mécanisme concurrentiel.

Cette approche a connu de nombreux développements et de nombreuses critiques :

- selon Pearce et Turner (1990), les deux premières conditions figurent une situation où le niveau d'externalité atteint est toujours optimum, avec ou sans négociation. En effet, même sans négociation, l'optimum existe car les coûts de transactions, trop élevés, dépassent les bénéfices attendus de la négociation.
- le fonctionnement de la solution coasienne⁹, n'est possible que si les droits de propriété sur les ressources sont bien définis (ce qui permet leur échange) ou susceptibles d'être bien définis. Or, comme le signale Bromley (1989), dans de nombreux cas et notamment en ce qui concerne les ressources renouvelables, des droits de propriétés au sens strict n'existent pas, seuls fonctionnent des droits d'usages. Dans ce cas, l'externalité est donc créée par un problème de propriété, qu'il faut résoudre (cf B.).
- la solution de Coase est présentée comme une solution interne au problème de l'externalité, à la différence de la solution pigouvienne qui prévoit une intervention extérieure, celle de l'Etat. Ce point est contesté par de nombreux analystes qui soulignent la nécessité d'organiser et de contrôler le mécanisme décentralisé, donc de l'intervention d'une autorité extérieure, l'Etat, pour cela.

En conclusion, signalons que la prise en compte des externalités dans un objectif d'efficience suppose une forme d'organisation collective selon deux logiques (Guerrien, 1996) :

- d'internalisation via une instance extérieure qui agrège les agents en interaction afin de supprimer l'externalité. les solutions envisageables portent sur les mécanismes d'allocation des biens et facteurs de l'économie (signaux prix : taxe, tarification).
- de « marchandisation » des externalités par la restauration d'un mécanisme marchand, qui permet une entente entre agents concernés par l'externalité pour la compenser et éviter les comportements de passager clandestin. L'intervention porte sur les mécanismes de redistribution via les dotations initiales des agents (en droits de propriété), mais n'affecte pas le mécanisme d'allocation des ressources qui reste le marché.

⁹ Autre limitation de la portée de la solution coasienne : elle ne s'applique qu'aux biens rivaux, du fait du risque de comportement de passager clandestin dans le cas de biens collectifs à non rivalité d'usage (Guerrien, 1996).

B. Un problème d'accès libre lié à la nature des ressources et aux incitations individuelles.

En matière de ressources renouvelables, une importante partie des analyses attribue la dégradation et l'usage excessif et l'allocation inefficace de ces ressources à un accès- libre, liée à leur nature :

- l'exclusion de l'usage des ressources est difficile pour plusieurs raisons : de coût, physiques ou institutionnelles. Cette caractéristique crée la possibilité que les individus qui bénéficient de l'usage de la ressource ne contribuent pas à long terme à sa viabilité ;
- de nombreux usages de ces ressources, disponibles en quantités finies , se font dans des conditions de rivalité ;
- de plus, les écosystèmes produisent des services (pour les écosystèmes forestiers par exemple : protection des bassins versants, biodiversité, stockage du CO₂) qui peuvent être considérées comme des externalités ou des biens publics. L'existence de ces services est menacée par le même type d'incitations qui conduit à la surexploitation du stock de ressources.

Les ressources renouvelables représentent donc une catégorie de bien mixte entre biens privés (exclusifs et rivaux) et biens publics purs (non-exclusifs et non rivaux). Elles sont qualifiées de common pool resources (CPR) ou « biens communs » ou encore « biens partagés¹⁰ » (Ostrom et al.1994). C'est sur la base de cette catégorie de bien que l'économie des ressources renouvelables s'est développée¹¹. Le libre accès entraîne la non-prise en compte pas les agents économiques de l'ensemble des conséquences économiques de leur décision : l'externalité est donc due à une absence (ou une mauvaise définition) des droits sur ces biens ¹². L'accès libre est une situation dont les conditions sont données et dans laquelle, les agents économiques ne reçoivent aucune incitation à la modifier.

L'analyse se fonde sur un ensemble d'hypothèses :

- l'offre des ressources est finie et prévisible : hypothèse d'environnement stable.
- la non exclusion implique une situation où tout le monde peut s'approprier la ressource. Les droits de propriété concernent uniquement ce qui est collecté et vendu sur un marché compétitif. Les décisions des agents n'intègrent pas la valeur économique totale de la ressource, aboutissant à une course pour la ressource. Les individus ont peu intérêt à investir dans la conservation en adoptant un comportement d'autolimitation, n'ayant pas de garantie de bénéficier individuellement de cette action.

¹⁰ Pour les différencier de l'autre catégorie de biens mixtes que sont les biens de club à usage exclusif et non rival (O. Thébaud, 1998)

¹¹ Cf. J.P. Reveret 1991 pour une présentation de l'évolution des idées sur ces ressources : depuis les biens considérés comme inépuisables puis comme libres (res nullius) car non appropriés.

¹² En matière de pollution , Dales, 1968 identifie aussi la carence des droits de propriété comme cause exclusive des externalités (Faucheux et Noël, 1995 : 185).

Ils ont avantage à laisser aux autres assumer le coût d'un tel investissement dont ils sont surs de bénéficier étant donné le caractère partagé des ressources (Ostrom, 1998). On retrouve le comportement de « passager clandestin » lié à l'usage d'un bien public.

- Les usagers sont homogènes, agissent indépendamment en fonction de leur intérêt propre. Ils ont des préférences déterminées et un comportement de maximisation à court terme, dans un contexte d'information complète. Un usager connaît l'existence de l'effet externe, qui n'est pas unidirectionnel, l'auteur de l'externalité la subissant également (Barrett, 1990). Il a la possibilité de prendre en compte l'effet externe mais cette incitation dépend de l'action des autres qu'il anticipe.

L'analyse a été présentée sous forme d'une métaphore par G. Hardin en 1968 exposant la « tragédie de l'accès libre » dans le cas d'un pâturage utilisé par deux pasteurs. Avec l'extension de la théorie des jeux, l'usage de ressources communes ou partagées a été représentée avec le formalisme de la théorie des jeux sous forme du jeu du dilemme du prisonnier (Dasgupta et Heal 1979, Romagny, 1997). De nombreux modèles analytiques ont été utilisés pour caractériser les situations de surexploitation selon ces hypothèses (modèles de pêcheur notamment).

Comme Hardin le précise dans son texte, il n'existe *pas de solutions techniques* à ce problème : Même si les agents économiques sont conscients de l'amélioration possible si une action collective est menée, il existe une raison pour que le comportement individuel soit contradictoire à l'intérêt général : le comportement de passager clandestin. L'exploitation des ressources « en accès libre » comme l'organisation d'une action collective pour les gérer posent problème : la consommation excessive de la ressource comme l'impossibilité de la gérer collectivement sont inéluctables¹³.

Les recommandations des analyses de l'accès libre portent sur la nécessité d'une autorité extérieure agissant comme propriétaire unique (« sole owner ») qui effectue l'arbitrage profit/ conservation de la ressource et rétablit la compatibilité entre la valeur collective de la ressource et son contexte d'utilisation. Elle contrôle ainsi directement ou indirectement l'utilisation du bien partagé et impose des limites aux comportements de passager clandestin. On retrouve la conception pigouvienne d'une autorité gestionnaire.

Une autre solution a été proposée dans le prolongement de l'approche coasienne. Pour résoudre les difficultés de l'approche coasienne (de considérer des droits sur la ressource – qui n'existent pas dans le cas de ressources en accès libres –, de les rendre mobiles et de minimiser les coûts de transaction de

¹³ Ostrom, 1998 présente cela comme l'enchaînement de 3 dilemmes : le premier porte sur l'usage de la ressource considérée « en accès libre », l'organisation d'une action collective pour sortir de ce dilemme en créant un second, le suivi et le contrôle des règles mises en place en créant un troisième. Donc l'approche de l'accès libre ne considère pas que les agents résolvent un dilemme de troisième ou second rang pour résoudre le premier.

leur échange dans l'économie), la théorie des droits de propriété met l'accent sur leur redéfinition des au profit de droits de propriété privé et sur leur échange sur un marché concurrentiel (Dales 1968). La mise en place de cette solution suppose l'existence d'un nombre de détenteurs suffisant pour assurer un marché concurrentiel (Cheung, 1970, Dales 1968) ; L'efficacité économique est atteinte à moindre coût : Les coûts de transactions sont jugés moins important dans ce cas que dans celui où l'allocation des biens prise en charge par l'agence centrale elle-même (Demsetz 1967, Cheung, 1970). Cette seconde solution a encore peu d'incidence en matière d'analyse et de politiques de gestion des ressources forestières tropicales.

C. Application aux forêts tropicales

Dans la littérature portant sur la gestion des ressources forestières, l'analyse des problèmes de coordination des usages relève des deux types d'interprétation : Les défaillances du marché et l'accès libre aux ressources.

- De nombreuses études ont pour objet la « surexploitation » des écosystèmes forestiers assimilés à des ressources en accès libre. Initiés par les travaux de Gordon en 1954, l'analyse (et les modèles cf infra.) d'accès libre sont encore largement répandus dans le domaine des ressources renouvelables. Comme nous l'avons vu la solution préconisée à ce problème de nature du bien est un gestionnaire unique, représenté le plus souvent par l'Etat ou une des ses agences. Or, cet accès libre est maintenant présenté comme une conséquence de la gestion unique. Pour de nombreux analystes, il relève d'une situation de fait qui résulte du déficit de contrôle de la part du gestionnaire unique qu'est l'Etat (Repetto et Gillis, 1988, Weber 1994), et non plus d'une question de définition des droits sur une ressource partagée. De plus, comme l'a montré C.W. Clark (1973), même lorsque la ressource est parfaitement contrôlée par un propriétaire ou un gestionnaire exclusif poursuivant un objectif de maximisation des profits à long terme, l'extinction peut être une "stratégie optimale" (Faucheux et Noë, 1995, p. 166).

- La question des externalités hors marché de l'exploitation des stocks forestiers (ou de sa limitation) fait l'objet d'une autre partie des travaux (OCDE, 1992). L'importance de ces externalités relève d'une double dimension : une dimension locale en raison du caractère multi-usage des ressources et espaces forestiers et une dimension globale en raison des aménités environnementales, qui rendent difficile l'évaluation des dommages¹⁴. Le prix du bois sur le marché ne reflète pas les coûts de renouvellement des écosystèmes, l'état du stock forestier comme les coûts indirects liés à la fourniture de biens collectifs (régulation climatique, fertilisation des sols, biodiversité), même si leur coût social est sensible (sols, climat, espèce) (Lescuyer, 1999). Sont aussi mis en évidence des coûts de

¹⁴ De plus ces externalités de différentes natures sont difficilement agréables .

transaction trop élevés dans le cadre du seul jeu du marché (difficulté de s'accorder sur le coût des dommages, coût des litiges...) (Karsenty, 1999). En effet dans le domaine des forêts se pose un problème de connaissance des écosystèmes, des interactions hommes ressources qui rendent difficile une mesure des impacts des activités (Weber, 1995). Dans ce contexte, ni la propriété publique ni la propriété privée ne permettent de résoudre tous les problèmes (OCDE, 1992). Pour un caractère soutenable de l'exploitation forestière, l'accent est mis sur des systèmes d'appropriation spécifiés de façon adéquate en relation avec les contextes écologiques et sociaux (Hanna & Munasinghe, 1995 p.4) afin de fournir aux agents économiques des incitations adaptées.

- Un troisième type d'analyse part de l'absence de solution de premier rang (internalisation ou compensation) aux défaillances du marché. Le bien-être collectif dans le secteur forestier est donc lié aux incitations (prix, politiques) auxquelles sont soumises les décisions des agents économiques quant à l'utilisation des terres : le prix du cacao et des courses à la forêt qu'il a suscitées en Afrique tropicale comme celui du rôle du commerce du bétail en Amazonie sont des cas fréquemment cités. Les compétitions d'usage pour l'espace, support de ressource (Von Amsberg, 1998, Karsenty 1999) sont liées au coût d'opportunité de la terre, qui devient ici un facteur essentiel pour déterminer le degré de dégradation des écosystèmes. (Hanna & Munasinghe, 1995, Deacon 1994). Les conversions des écosystèmes forestiers sont analysés comme l'appropriation d'une rente ricardienne sur les forêts (Champagnat, 1997). Les solutions aux problèmes de coordination passent par des politiques de « second ordre » : politiques commerciales, politiques de prix agricoles, ou écocertification dont les résultats restent ambigus et difficiles à évaluer (Karsenty 1999). Cette catégorie d'analyse n'entre pas dans le champ de ce document.

En conclusion

Dans le cadre théorique présenté, pour résoudre un problème d'allocation des ressources, il s'agit de rechercher des modalités d'ajustement à une situation économique qui s'impose à l'analyse comme donnée de nature (norme d'optimum paretien à atteindre, valeur de la ressource donnée). Ces solutions peuvent être résumées de la façon suivante

- soit une autorité extérieure chargée de l'arbitrage et de l'allocation (solutions du gestionnaire unique ou de l'Etat en charge d'un mécanisme d' internalisation via la taxation)
- Soit la restauration d'un mécanisme concurrentiel par le découpage du bien partagé en unités¹⁵ pour lesquels individus perçoivent la totalité des bénéfices et des coûts et l'instauration des possibilités d'échange de ces unités (par mécanisme bilatéral ou marché). On se ramène ainsi au cas de l'échange marchand de biens privés purs en cohérence avec le modèle économique standard fondé sur comportement de maximisation de l'utilité des agents .

¹⁵ L'attribution de droits d'usages exclusifs entre dans cette catégorie.

112. Les instruments des politiques de gestion des ressources renouvelables

Pour réduire l'écart entre situation observée d'usages des ressources et optimum collectif recherché, deux catégories d'instruments sont traditionnellement distinguées : les instruments économiques et les instruments non économiques. La première section présentera les critères sur lesquels les recommandations théoriques fondent le choix des instruments. Pour les ressources forestières tropicales, on observe que la complémentarité entre ces instruments est faible. Les conditions de leur mise en œuvre feront l'objet d'une seconde section.

A. Recommandations théoriques sur le choix des instruments

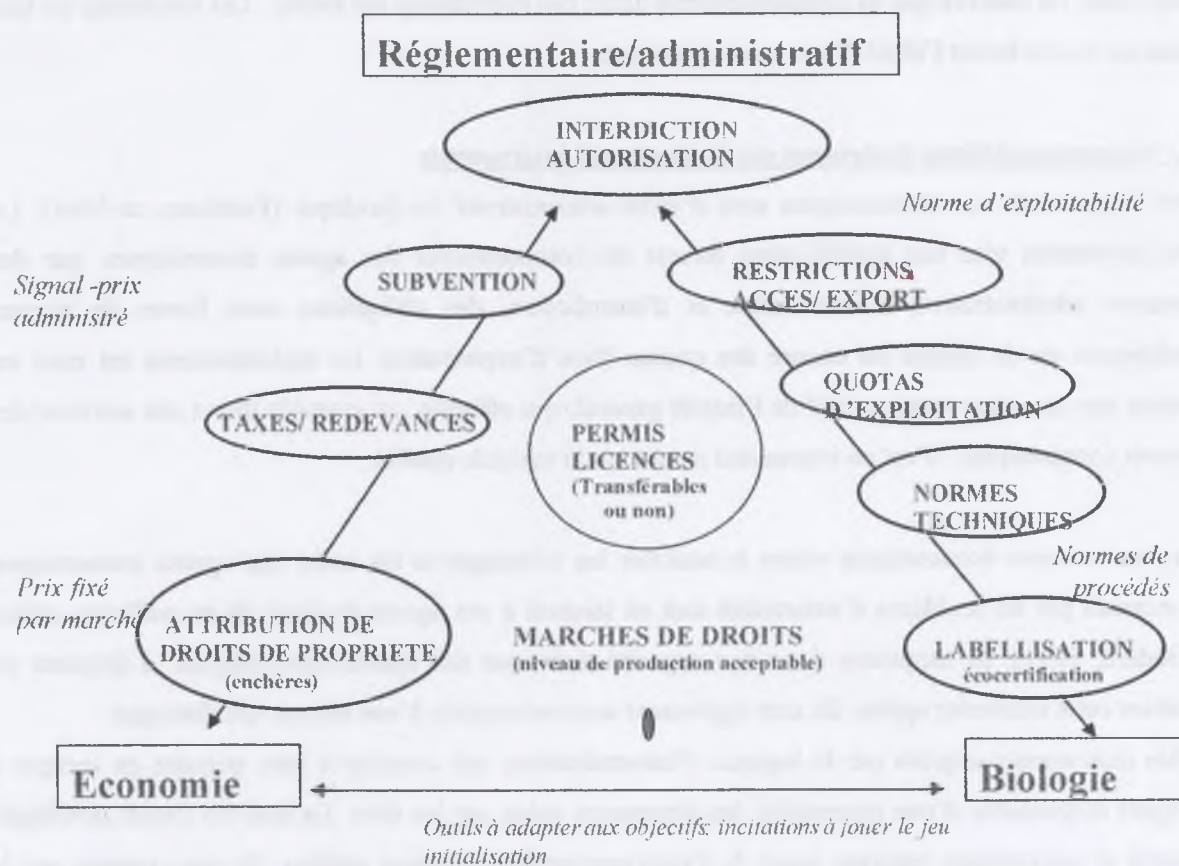
Les instruments non économiques sont d'ordre administratif ou juridique (Faucheux et Noel). La réglementation vise une modification directe du comportement des agents économiques par des mesures administratives d'autorisation et d'interdiction, des obligations sous forme de normes techniques ou de qualité ou encore des quotas fixes d'exploitation. La réglementation est mise en œuvre par un acteur représentatif de l'intérêt général, qui effectue un contrôle direct des activités des agents économiques : c'est un instrument centré sur la variable qualité.

Les instruments économiques visent à modifier les avantages et les coûts des agents économiques concernés par un problème d'externalité tout en laissant à ces agents le choix de la meilleure option (Godard, 1991). Ils supposent donc une capacité technique des agents économiques à disposer ou utiliser cette meilleure option. Ils sont également souvent assortis d'une norme. On distingue :

- les instruments inspirés par la logique d'internalisation, qui consiste à faire prendre en compte à l'agent responsable d'une externalité, les dommages subis par les tiers. La taxe est l'outil privilégié. Taxes et subventions relèvent aussi de l'intervention des pouvoirs publics. Ils sont centrés sur la variable prix.
- les instruments inspirés par la logique de compensation des externalités et de restauration de l'efficacité du marché. Ces outils reposent sur le fonctionnement d'un mécanisme marchand pour la fixation d'un niveau acceptable d'externalité, compatible avec l'efficacité économique : ils recourent les quotas et permis transférables par accord bilatéral ou sur un marché. Ces instruments sont centrés que la variable quantité puisqu'ils mettent en place un rationnement des droits (à polluer, à produire).

Du point de vue théorique, les attributs de la situation à gérer fondent les recommandations concernant l'usage de la réglementation ou d'instruments économiques (Commissariat au Plan 1993 in Faucheux et Noël 1995). Ces attributs sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous.

Figure n°1. les instruments des politiques de gestion des forêts selon leur logique de mise en œuvre.



D'après J. Weber, Cirad- Green, document interne de formation.

Tableau 1. Comparaison des critères de choix de la réglementation et des outils économiques

Circonstances- Attributs	Favorables à l'emploi de la réglementation	Favorables à l'emploi d'instruments économiques
Problème central	Définition d'une convention commune	Allocation d'une ressource rare
Nombre d'agents intéressés par l'allocation	Faible	Elevé
Accès à l'information	Connaissance commune	Information asymétrique , biais stratégique
Hétérogénéité de caractéristiques des agents (choix, coûts)	Faible	Elevée
Effets attendus de l'innovation technique	Faibles	Forts
Effets attendus de la normalisation	Forts	Faibles
Forme de la fonction de dommage et incertitude	Pente élevée ; présence de seuils	Pente faible, pas de seuils

Source : Commissariat Général au Plan, 1993 in Faucheux et Noël, 1995

Dans le domaine des forêts tropicales, A. Karsenty montre que l'analyse de ces attributs ne permet pas un choix sans ambiguïté (Karsenty, 1999), qui dépend alors fortement du contexte de leur mise en œuvre.

B. Rôle du contexte de mise en œuvre des instruments

Dans le domaine des ressources renouvelables et notamment des forêts tropicales, la réglementation reste un instrument privilégié et recouvre une grande diversité de modalités. Le faible recours aux instruments économiques en complément d'instruments réglementaires s'explique par les conditions nécessaires à leur mise en œuvre. La figure n°1 représente les principaux outils utilisés en matière de gestion des forêts tropicales.

Les deux côtés supérieurs du triangle représentent la principale variable d'action utilisée : les instruments fondés sur les prix figurent à gauche; les instruments fondés sur les quantités figurent à droite.

Les trois sommets du triangle représentent la logique d'application qui sous-tend la mise en œuvre de ces outils, c'est à dire les modalités d'arbitrage entre les différents intérêts : administrative, économique ou biologique. Au centre, se trouvent des instruments qui peuvent relever de plusieurs logiques. Ainsi les licences et permis relèvent d'une logique administrative dans leur attribution ou économique, quand leur transférabilité est permise et crée un marché d'actifs valorisables. Les

marchés de droits font l'objet de larges développements en économie de l'environnement dans le cas de la pollution (marchés de droits à polluer) ou en économie des pêches (quotas individuels transférables). Ils sont mentionnés dans le graphique mais ne sont pas utilisés dans le domaine des ressources forestières tropicales.

Logique administrative et réglementaire d'arbitrage des intérêts

L'arbitrage entre les différents intérêts est le fait d'une autorité administrative : les interventions consistent autant à fixer un signal-prix administré via un système de taxation (instrument économique ; variable-prix) qu'une norme d'exploitation (instrument non économique ; variable-quantité). L'attribution de concessions ou de permis d'exploitation (numerus clausus), les interdictions d'exploitation, les autorisations, la fixation de quotas à l'exportation ou les systèmes de taxation et subventions rendent compte de cette logique d'arbitrage.

Leur mise en œuvre suppose donc plusieurs caractéristiques qui déterminent l'efficacité de leur mise en œuvre :

- a) L'acceptabilité de la norme collective de décision, qu'il s'agisse des limites fixées par les quotas ou du taux de taxation afin d'éviter leur contournement ;
- b) un niveau d'information à la disposition des autorités pour effectuer cet arbitrage. Selon les instruments, l'information porte sur les dommages environnementaux, les coûts des acteurs économiques, l'évolution des marchés ou la viabilité des interactions entre modes d'exploitation et milieu écologique. La nécessité, par exemple, de disposer d'un suivi et d'inventaire de la ressource pour fixer un taux de taxation différencié selon la nature des dommages et d'un suivi des coûts des opérateurs pour donner à la taxe un caractère incitatif, est souvent mentionnée : le cas empirique du Niger que nous étudierons en constitue un exemple. Cette information a un coût pour l'autorité publique ;
- c) une certaine flexibilité pour les adapter aux évolutions du contexte écologique ou économique : or les difficultés ou le coût de leur révision est souvent mentionnés notamment qu'il s'agisse des systèmes de taxation ou des normes (Godard et Salles, 1991).
- d) un contrôle par les autorités administratives pour éviter leur faible application ou leur faible rendement. Cela suppose un système administratif existant et sans contrainte budgétaire afin d'éviter des intéressements à la violation des instruments, ce qui est un constat fait dans de nombreux cas. Cela suppose aussi un système de sanction.
- e) En lien avec la caractéristique précédente, leur rôle incitatif est souvent remis en cause quand le système de taxation est conçu dans une logique budgétaire d'alimentation du budget de l'Etat (faible taux et large assiette). Pour être efficace, une taxation incitative doit être ciblée, avoir un taux élevé et un rendement décroissant dans le temps (qui traduit l'amélioration des pratiques des agents économiques) (Karsenty, 2000). Elle peut difficilement être appliquée dans des pays où elle

alimente fortement le budget de l'Etat. De même, les systèmes de quota ou de respect d'un standard ont un caractère incitatif limité, l'agent économique n'étant pas incité à améliorer ses pratiques au delà de la norme fixée par l'administration.

- f) enfin, une absence de distorsions sur le système de prix, particulièrement préjudiciable au fonctionnement de la taxation.

Logique économique d'arbitrage des intérêts

L'arbitrage entre les intérêts est laissé au fonctionnement du marché, comme mécanisme de coordination par les prix. Les instruments mis en place dans ce cas, fondés sont supposés avoir un caractère plus incitatif. Ils sont souvent articulés avec une norme ou un quota global existant. En matière de gestion forestière, l'utilisation des outils économiques est limitée à l'attribution marchande de droits d'usage exclusifs (quasi-droits de propriété) par l'Etat. On peut citer par exemple, l'attribution des concessions ou des permis de coupe aux enchères. En revanche le caractère échangeable de ces droits sur un marché n'existe pas dans le secteur forestier, à la différence du secteur des pêches. Pour le fonctionnement de ces outils, le rôle de l'Etat est déterminant afin d'encadrer la concurrence entre acteurs et d'allouer les droits à exploiter. Sans cela, l'absence de confiance dans le dispositif rend l'instrument peu opérant. Un débat important concernant la mise en œuvre d'instruments reposant sur les marchés de droits concerne les critères d'attribution de ces droits et la fixation des règles du jeu, c'est à dire leur renégociation possible. Enfin, des instruments qui articulent logique marchande et logique biologique d'arbitrage des intérêts sont de plus en plus débattus en matière de gestion forestière et de gestion des pêches : il s'agit de l'écocertification des productions

Leur efficacité dans la mise en œuvre suppose :

- a) un système de prix qui fonctionne sans distorsions , ce qui pose souvent problème dans les PVD, les prix ayant souvent une faible signification économique.
- b) des coûts d'organisation faibles du système de marché pour les quasi-droits de propriété (coûts de transaction).
- c) une relative stabilité du secteur et l'existence de relations entre opérateurs économiques qui permettent l'organisation d'un marché, ce qui limite souvent leur fonctionnement à un contexte très local : le domaine des pêches en fourni un exemple avec l'étude des systèmes de quotas individuels transférables (ITQ's). Leur efficacité semble plus grande dans des contextes très locaux, l'Islande étant souvent cité en référence..

Logique biologique d'arbitrage des intérêts

L'arbitrage des intérêts est normé par le respect d'un critère écologique. La fixation d'un standard écologique constitue un élément-clef du processus de décision collective, qui peut relever d'une

décision administrative (quotas ou normes d'exploitabilité). Mais elle fait aussi intervenir des partenaires nouveaux, extérieurs dans la gestion, qui fixent ces standards écologiques : on peut mentionner le Forest Stewardship Council en matière forestière. L'idée en est que le consommateur des produits est susceptible de payer plus cher des produits respectant ces standards écologiques : c'est le cas de l'instrument écocertification des bois.

La mise en œuvre de ces instruments suppose pour une meilleure efficacité :

- a) que le critère de gestion durable choisi soit profitable aux opérateurs économiques, soit en favorisant des gains de productivité, en permettant que les prix rémunèrent la performance environnementale atteinte. Dans ce dernier cas, cela signifie que le marché réponde à ce standard, ce qui en matière de bois tropicaux notamment, n'est pas souvent le cas (Faysse *et al.*, 1997).
- b) que les agences publiques ou privées qui déterminent ce standard aient une légitimité et une transparence dans le choix de ce standard ¹⁶

En conclusion, l'évaluation de ces instruments et de leur efficacité fait largement appel au contexte de leur mise en œuvre qui remet en cause leur efficacité supposée selon des critères théoriques.

12. Les outils de modélisation

Les sections précédentes ont abordé comment la théorie néo-classique rendait compte du problème d'allocation sous-optimale des ressources. Au centre de l'analyse, se trouvent les problèmes d'accès à un bien partagé et de désinvestissement dans la conservation pour lesquels, la recherche de solutions peut être appuyée par la modélisation. Après avoir introduit les deux paradigmes de la modélisation de la gestion des ressources renouvelables, nous présenterons un aperçu rapide de la littérature sur les types de modèles (empiriques et analytiques) élaborés.

12.1. Les deux « paradigmes » de la modélisation de la gestion des ressources renouvelables

Le domaine des ressources renouvelables a suscité, dans les années récentes, un grand nombre de modèles, représentations formelles du système étudié dans une optique néo-classique. Dans une revue des modèles élaborés sur la déforestation des forêts tropicales, les auteurs notent que 90% des modèles ont été élaborés depuis les années 90 (Kaimovitz & Angelsen, 1998).

Les modèles construits pour la représentation des problèmes de ressources reposent sur différents points de vue et paradigmes (Weber 1995, Faucheux et Noël, 1996, Jager 2000). Pendant de

¹⁶ pour une analyse de cet instrument, cf. Karsenty, 1999.

nombreuses années, les interactions entre dynamiques écologiques et dynamiques sociales ont été abordées soit sous l'angle du "système écologique qui subit des perturbations anthropiques" soit sous l'angle du "système social soumis à des contraintes naturelles" (Weber, 1995).

Dans le premier cas, les modèles sont élaborés dans un cadre standard, qui représente des interactions globales et s'attachent à décrire la dynamique de la ressource. Le problème posé est de définir quel prélèvement d'origine anthropique peut être supporté de façon durable par le stock de ressource. Les modèles postulent une norme à atteindre qui assure la réalisation de l'optimum économique et la détermination d'un niveau optimal de pression sur le stock de ressource. L'appui de la modélisation à la "gestion" consiste alors à rechercher un système de contrôle qui régule ensemble du système, c'est à dire le meilleur contrôle sur le flux de prélèvement. Les dynamiques sociales obéissent à la « fiction de l'agent représentatif » pour décrire le groupe formé d'agents rationnels homogènes au comportement unique fondé sur l'optimisation individuelle (Kirman 1977). Elles sont agrégées et réduites à la forme du prélèvement qu'elles produisent. Les hypothèses principales de cette approche supposent en outre l'absence de rôle de l'espace, support des ressources et une dynamique naturelle stable en l'absence de prélèvement¹⁷.

Dans le deuxième cas, les modèles posent le problème de l'usage de ressources, dans le cadre d'interactions locales directes entre des agents économiques. Ils font intervenir des agents économiques individuels qui désirent maximiser une utilité sous contraintes" et placent l'usage collectif de ressources communes dans un cadre de prélèvement purement concurrentiel. Le problème est de déterminer une solution, c'est à dire les choix des agents qui aboutissent à un comportement collectif souhaitable, un optimum de Pareto. La ressource est prise en compte dans sa contribution au critère à optimiser (profit ou coût). Des règles du jeu déterminent le domaine des choix possibles pour les agents individuels. La métaphore de Hardin est représentative de ce point de vue (Hardin 1968). Cette approche permet la prise en compte de plusieurs centres de décision contrairement aux modèles de contrôle dont la validité des résultats est liée à l'existence d'un seul décideur (Romagny, 1996). Cette approche est remise en cause depuis quelques années (Berkes et al. 1989), en particulier grâce à des modélisations¹⁸, qui ont souligné le rôle des hypothèses relatives aux interactions sociales sur les résultats attendus des comportements concurrentiels ou montré le rôle de la dynamique naturelle variable de l'environnement dans lequel sont placés les agents (Ostrom 1990, Nowak et May 1992, Bousquet *et al.* 1996, Romagny 1996, Epstein et Axtell, 1997). Nous reviendrons sur une catégorie de

¹⁷ Pour une remise en cause de cette hypothèse cf. Ludwig et al. 1993.

¹⁸ Certaines reprennent le cadre de la théorie des jeux (Romagny, Ostrom, Stevenson). D'autres l'intègrent à des approches de modélisation du type automates cellulaires (Nowak & May) ou multi-agents (Bousquet) ou utilisent des modélisations de type automates cellulaires (Epstein & Axtell).

ces modélisations, dans la partie III : nous y présenterons le formalisme des modèle multi-agents que nous avons utilisé pour ce travail.

Nous avons présenté les paradigmes qui orientent la construction des modèles et définissent leur apport à la réflexion théorique sur la gestion des ressources. Ces modèles peuvent aussi être caractérisés du point de vue de leur échelle et de leurs méthodes d'analyse .

122. Modèles empiriques.

Ces modèles sont construits sous la forme de relations statistiques significatives à établir entre des variables, explicatives et expliquées, qui sont représentées par des données empiriques. Des méthodes statistiques (régression linéaire ou non-linéaires) sont utilisées pour estimer les relations entre variables.

L'utilisation de ce type de modèles dans le domaine des ressources renouvelables est très répandue, notamment dans la littérature portant sur la déforestation (pour une revue de ces modèles cf. Kaimowitz et Andersen, 1998). Relevant du premier paradigme, ces modèles sont le plus souvent établis pour représenter des phénomènes appréhendés à l'échelle méso-économique ou macro-économique mais peu à l'échelle micro-économique de la décision des ménages ou des firmes. Outre les limites inhérentes aux données disponibles¹⁹, on peut noter que ce type de modélisation permet des extrapolations mais sur la base de relations entre variables du modèle considérées comme statiques. Les modèles empiriques sont donc limités pour représenter et simuler des processus dynamiques du monde réel.

123. Modèles analytiques

On distingue deux catégories de modèles analytiques : les modèles d'optimisation et les modèles de systèmes dynamiques.

A. Modèles d'optimisation

Ces modèles, construits sur une base théorique, visent à rechercher les implications logiques des hypothèses sur les relations qui lient les variables choisies. Ils s'agit d'optimiser une variable

¹⁹ Le plus souvent, devant la difficulté pour obtenir des séries temporelles longues, les données utilisées sont des données de panel ou des données cross-sectionnal, ce qui revient à ignorer le rôle du temps (Kaimowitz & Angelsen, 1998.). Ainsi Deacon établit un modèle empirique fondé sur une analyse d'équilibre partiel du secteur agricole pour saisir les relations entre productivité agricole, population et couvert forestier, qui est la variable expliquée. Les relations sont estimées sur la base de données de panel collectées sur plusieurs pays.

quantitative du modèle. Pour cela, un contrôle global est recherché qui permette d'atteindre au mieux cet objectif compte-tenu de contraintes. A la différence des modèles empiriques, la nature des relations n'est pas caractérisée par des données statistiques mais par une formalisation mathématique. Dans le domaine de l'usage des ressources forestières, ces modèles sont applicables à trois échelles : à l'échelle micro-économique avec les modèles de décision établis à l'échelle des ménages, à l'échelle du secteur de production avec les modèles d'équilibre partiel, à l'échelle macro-économiques avec la construction de modèles d'équilibre général calculable²⁰ (Kaimowitz & Angelsen, 1998).

Ces modèles ont essentiellement une dimension normative (détermination du taux de pression socialement optimal sur les ressources par exemple²¹). Mais ils peuvent être utilisés aussi dans des démarches exploratoires et de simulations.

Les méthodes d'optimisation opèrent à partir des conditions nécessaires de l'optimum²². Selon le cadre temporel de l'analyse, on distingue les modèles d'optimisation qui opèrent dans un cadre statique ou dynamique. Les modèles de programmation linéaire ou non linéaire ou de théorie des jeux font partie de la première catégorie ; Les modèles de contrôle optimal rendent compte d'un cadre d'analyse dynamique en temps discret et font l'hypothèse que les variables s'ajustent instantanément. L'aspect dynamique est le plus souvent traité sous forme multi-période, avec une hypothèse d'ajustement instantané des variables.

B. Les modèles de systèmes dynamiques

Ces modèles analytiques décrivent le comportement d'un système réel en mettant en relation des variables représentant des stocks et des flux qui caractérisent les interactions entre variables internes (liens de causalité, rétroaction...). Il s'agit aussi de définir un mécanisme de contrôle global sur des éléments du système, que l'on cherche à optimiser pour atteindre un résultat. Les variables à optimiser peuvent être de plusieurs dimensions quantitatives ou qualitatives.

²⁰ Ainsi Picketty analyse les impacts de politiques relatives à la forêt et l'agriculture en Indonésie au moyen de MEGC (Picketty, 1998).

²¹ Comme le signalent Pearce & Brown, 1994 et Kaimowitz & Angelsen, 1998, à propos du modèle de Barbier et Burgess, 1999, ces modèles ont une portée pratique limitée pour expliquer dans quelle conditions on observe une déforestation ou une dégradation des ressources.

²² Ou conditions de premier et second ordre ; les méthodes d'optimisation recouvrent l'optimisation classique (variables sans contrainte), le langrangien (variable soumise à contrainte d'égalité) et l'optimisation de Khun-Tucker (variables soumises à contraintes d'inégalité). (Guerrien 1996 : 291).

Le modèle donne une description précise du comportement du système qui peut être comparé avec le comportement du monde réel. Sa construction nécessite de délimiter précisément le système en fonction des relations à étudier.

Ces modèles sont utilisés pour décrire mais aussi pour prédire les évolutions du système étudié au moyen de simulations, portant sur les hypothèses relatives aux lois et dynamiques du système simulé²³ (cf. l'application au cas du bois de Bouchereau, C3ED, 1996).

C. Application : les modèles de ressources renouvelables

Les modèles bio-économiques

Ils ont constitué l'essentiel du développement des modèles analytiques depuis les années 50, en lien avec l'approche théorique de « l'accès libre ». L'exploitation des ressources renouvelables est analysée comme un système de production, les ressources renouvelables étant appréhendées en tant que facteur de production (Romagny 1996). Ces modèles visent à une détermination simultanée du niveau de prélèvement de la ressource et de l'optimum économique. Ils reposent sur le paradigme de l'optimisation individuelle, comme représentation du comportement rationnel d'un agent. Ces modèles sont le plus souvent limités à un type de ressource ou de filière.

Le modèle de base, construit dans un cadre statique, est le modèle de Gordon-Schaeffer qui représente les mécanismes de dissipation de la rente liée à l'exploitation d'une pêcherie en accès libre décrit par Gordon en 1954.. La pêche est analysée comme une externalité de production en l'absence d'un propriétaire unique. Il n'y a pas d'adaptation dynamique des processus écologiques qui interviennent suite au prélèvement. Il s'agit de fixer un taux d'extraction de la ressource, ou Maximum Economic Yield, qui maximise la rente économique globale, compte-tenu de données de coûts et de revenus agrégés de l'activité. Le MEY, qui est l'optimum social, correspond à la rente que devraient atteindre les pêcheurs si ils ne formaient qu'un seul individu ou monopole. La situation d'accès libre est celle de l'optimum décentralisé où le profit global est dissipé avec l'augmentation de l'investissement dans le secteur face à une ressource limitée (Fauchaux & Noël, 1995). Ces modèles recommandaient donc un propriétaire unique qui restreigne par des instruments appropriés (taxes, licences, quotas) le niveau d'investissement pour le rendre compatible avec le MEY. La notion de rendement soutenable est aussi au centre des modèles statiques de gestion forestière qui déterminent le taux de rotation optimal (c'est à dire la date optimale d'abattage) en fonction de la maximisation des recettes actualisées de la coupe.

²³ Pour introduire l'incertitude dans les modèles de simulation, les modèles de systèmes dynamiques peuvent faire intervenir des variables stochastiques.

Dans un cadre d'optimisation dynamique, les modèles bioéconomiques traitent la question de l'allocation optimale intertemporelle des ressources. Les modèles de Scott, 1955 et Clark, 1991 sont inspirés du modèle de ressources épuisables de Hotelling (1931) et ont été établis en analogie avec la théorie du capital (Romagny 1996, Fauchaux & Noël 1995) : il s'agit de représenter des sentiers d'exploitation au cours du temps. La pêche actuelle au delà d'un seuil d'exploitation soutenable est considérée comme un désinvestissement pour le futur. Ces modèles mettent en relation les effets de différents paramètres économiques sur le renouvellement de la ressource (coût de production, taux d'actualisation). Dans ce cadre d'analyse dynamique avec propriétaire unique, C. Clark a montré que, l'extinction de la ressource pouvait être optimale²⁴. Dans le domaine forestier, le modèle de Faustman établit également une règle de gestion des populations d'arbres en lien avec le taux d'actualisation.

Des avancées significatives dans le domaine des ressources renouvelables « partagées » sont issues des modèles de théories des jeux. Ils modifient certaines hypothèses micro-économiques utilisées dans les modèles précédents : l'hypothèse d'atomicité est remplacée par une hypothèse d'interdépendance des acteurs dans un contexte institutionnel donné, l'information n'est pas toujours disponible et peut être asymétrique et incomplète. Il s'agit de comparer la situation de l'optimum aux résultats reconstruits théoriquement à partir du concept de « ressource partagée » ou observés empiriquement par des jeux expérimentaux. Des jeux du type dilemme du prisonnier déjà mentionné ont été utilisés comme des figures stylisées de l'exploitation des ressources. On retrouve avec ces modèles, le principal résultat des modèles d'accès libre, à savoir qu'il n'existe pas de solution interne au problème d'inefficacité : les stratégies des acteurs qui conduisent à l'optimum collectif ne sont pas des stratégies individuellement optimales.

Des analyses de ces jeux ont montré que, du fait de leur construction, une solution collectivement optimale ne pouvait être obtenue sans modifier les hypothèses de départ (Ostrom, 1990, Romagny, 1996). En effet, on ne retrouve pas ce résultat si on modifie les règles ou la structure du jeu.

- *les règles du jeu* représentent la nature des interactions entre individus. Comme le montre Ostrom 1990 en utilisant un jeu du dilemme du prisonnier répété, introduire une communication entre les joueurs ou une durée du jeu modifie le résultat d'absence d'optimum collectif²⁵. Cette démonstration est faite également par Axelrod (Axelrod, 1980) qui simule différentes combinaisons de stratégies individuelles pour vérifier dans quelles conditions, la non-coopération est l'issue dominante de

²⁴ Quand le taux de croissance de la ressource est < au taux d'actualisation si le coût d'exploitation n'est pas fonction de la taille du stock, et dans le cas contraire, quand le taux de rendement net est < au taux d'actualisation.

²⁵ La communication : appartenance sociale ; durée : sanctions possibles

situations de dilemme sociaux. Le rôle du temps (dilemme répété, à temps fini ou non) ainsi que celui de la configuration de départ ont été simulés.

- *La structure du jeu* considère la matrice de gains. D'autres expérimentations se sont penchées sur les modifications de stratégies individuelles comme résultat du changement de la situation de l'agent (Romagny 1996, Nowak & May 1992, Bousquet, 1996). Dans le cas des ressources renouvelables, Romagny montre que lorsque la matrice des gains tient compte de la variabilité de la ressource et de sa réponse aux stratégies de joueurs, on ne retrouve pas la structure de la matrice propre au jeu du dilemme du prisonnier, ce qui remet en cause les solutions théoriques attendues de ce modèle²⁶. De même, Bousquet introduit la réponse de la ressource et un espace d'interaction entre agents.

Le développement des modèles systémiques pour l'usage des écosystèmes est lié à l'approche éco-énergétique. La recherche d'une unité commune aux sous-systèmes écologiques et écologique est effectuée par le truchement d'une transformation en énergie (transformable elle-même en monnaie). Les valeurs écologiques et économiques sont ainsi standardisées et intégrées dans un système de flux (Costanza, 1989). L'utilisation de ces modèles est liée à la valorisation des biens environnementaux non marchands et à l'évaluation monétaires des options de politiques²⁷.

Cette présentation rapide des différents type de modèle utilisés dans le domaine de la gestion des ressources permet de situer notre démarche, qui utilise une formalisation alternative, les modèles multi-agents, et de présenter nos hypothèses de travail.

13. Problématique et hypothèses de travail

L'analyse économique des ressources renouvelables a abouti à des recommandations théoriques portant sur les instruments à mettre en œuvre pour assurer ou rétablir une allocation efficace de ces ressources. Ces instruments permettent de résoudre la tension entre rareté et allocation des ressources aux usages préférables du point de vue social. Des modèles ont été établis qui situent cette représentation théorique dans un cadre de confrontation entre une offre (connue, stable) de ressources

²⁶ La productivité naturelle de la ressource, c'est à dire le lien entre sa disponibilité actuelle et future de la ressource, est considérée comme donnée dans un environnement stable et donc pas prise en compte par les agents de l'économie dans le cadre de la théorie des jeux et notamment dans le dilemme du prisonnier appliqué à la métaphore de Hardin (Romagny, 1996).

²⁷ Costanza 1989 compare ainsi la valeur actualisée d'écosystèmes humides aux USA obtenue à partir des méthodes d'évaluation des actifs naturels et à partir d'un modèle éco-énergétique de ces lagunes.

et une demande concurrentielle. Dans le cadre de ces modèles, les solutions proposées ne contribuent pas toutes à assurer la viabilité du système écologique et l'efficacité sociale.

131. Problématique

La question que nous nous sommes posée est la suivante : comment fonctionnent ces instruments dans un contexte empirique donné et quels résultats attendre de leur mise en œuvre du point de vue de la viabilité écologique et économique? Quel outil de représentation et d'évaluation utiliser ?

Considérer le contexte empirique amène à prendre en compte plusieurs dimensions relatives à la ressource et à la « sphère sociale » des usages (Passet, 1979) et à tenter d'explicitier la notion d'efficacité des différents instruments. Du point de vue de la ressource, ces dimensions concernent :

- un contexte biologique dynamique, de réponse à long terme de la ressource aux usages.
- des interactions entre dynamiques biologique et sociale : les activités des agents modifient leur environnement qui, à son tour, influe sur les capacités et opportunités des agents.

Du point de vue de la sphère sociale, interviennent notamment :

- l'hétérogénéité des acteurs économiques
- leur organisation : l'organisation économique dans une filière d'exploitation et de commerce du bois ²⁸, qui est un réseau dans lequel s'organisent les échanges, en est un exemple. Les interactions entre acteurs ont alors un caractère dynamique et local.
- Le poids des différents acteurs quant à l'information disponible.

La démarche choisie est modélisation de la question théorique étudiée, après à un travail bibliographique qui fournit le contexte des interactions entre acteurs. La modélisation est conçue pour venir en appui à un travail empirique de terrain qui permettra de comparer résultats du modèle et données de terrain.

La méthode de modélisation choisie est la simulation. Il s'agit construire un modèle stylisé, applicable au contexte empirique. Il s'agit ensuite de simuler, sur cette base, la mise en œuvre de différentes règles et instruments de gestion pour en explorer les effets sur le fonctionnement du système étudié. La méthode vise à identifier les conditions d'existence et de fonctionnement des instruments et règles régulant les interactions entre des acteurs hétérogènes et entre des acteurs et leur environnement. La nature et le niveau d'intervention de ces instruments constituent autant de scénarios par rapport à une

²⁸ D'autres types d'organisation des activités économiques peuvent être pertinentes pour l'analyse comme l'organisation sociale en ménages ou villages ou l'organisation spatiale au sein de régions

situation de base. Les résultats du modèle peuvent être soumis à un examen à partir de l'observation sur le terrain.

Nous utiliserons pour cela le formalisme des systèmes multi-agents, qui relève d'une modélisation de type interactionniste, fondée sur la représentation d'interactions entre entités informatiques ou « agents ». (cf. Partie III).

132. Démarche choisie : la simulation

A. Présentation

La modélisation multi-agent est utilisée ici pour une démarche de type expérimentale permettant de *"tester la cohérence d'hypothèses sur le comportement des individus [...] en interaction, de laisser évoluer ces interactions et d'interpréter l'évolution du système"* (Weber, 1995: 14). Nous ne nous plaçons dans une optique normative de détermination du taux d'exploitation ou de déforestation optimal du point de vue social. La démarche choisie est en outre donc progressive et constructiviste.

Le modèle de base consiste à représenter une ressource dynamique et un ensemble d'agents autonomes, dans une situation d'exploitation d'une ressource « partagée ». Ces agents sont organisés au sein d'une filière d'exploitation d'une ressource renouvelable. Les hypothèses de comportement retenues pour représenter les agents économiques à chaque stade de la filière sont celles de la théorie micro-économique : ils ont un comportement rationnel de maximisation d'une fonction-objectif individuelle²⁹. En effet, les solutions préconisées au problème de gestion des ressources renouvelables présupposent que les agents sont des agents rationnels.

Ces hypothèses de comportement individuel sont modélisées dans le cadre d'interactions qui sont :

- directes (échanges entre agents) et indirectes (par l'intermédiaire de l'environnement comme des externalités de production).
- essentiellement locales (bilatérales)
- et inscrites dans un espace.

Le fonctionnement de l'ensemble est simulé. Sont ensuite introduits les instruments visant à la coordonner les usages de la ressource. Cette hypothèse est testée en simulant leur fonctionnement. Les résultats sont comparés à la situation de base. L'observation porte sur les évolutions du système global : Existe-t-il des contradictions entre les résultats attendus des hypothèses et ce qui est observé ?

²⁹ Comme nous le verrons plus loin les SMA permettent de représenter d'autres comportements que des comportements qu'optimisation individuelle : imitation, comportement issus de normes sociales....

Qu'observe-t-on en matière de comportements globaux? Les hypothèses sont-elles suffisantes pour conduire aux résultats annoncés ?

B. Niveau d'analyse et observation du système

Le choix des niveaux d'analyse

Les comportements des acteurs sont modélisés à l'échelle individuelle. Le nombre d'acteurs économique à chaque stade de la filière est fixé pour le temps de la simulation.

Les dynamiques biologiques sont représentées à l'échelle d'un massif forestier pour prendre en compte à la fois la dynamique de la végétation sur une même parcelle mais aussi l'évolution du couvert boisé en termes de surface et l'effet des comportements et stratégies des « agents ». Pour cette raison les simulations se feront avec un pas de temps annuel sur une durée significative du point de vue des capacités de renouvellement de la ressource. Le modèle comporte donc des acteurs hétérogènes appartenant à différents stades de la filière, un espace support de ressources, et une dynamique naturelle variable.

Les indicateurs d'observation

Les indicateurs retenus pour l'observation du système portent :

- d'une part sur les quantités de ressources bois disponibles et leur répartition spatiale qui fournissent des indications quantitatives et qualitatives sur la viabilité de la ressource.
- d'autre part sur les revenus des acteurs économiques au sein de la filière : l'objectif est de comparer l'évolution de la ressource et des revenus de chaque catégorie d'acteurs entre la situation de base et la situation avec instruments.

Le contexte empirique choisi est celui de la coordination des usages du bois-énergie ou bois de chauffe au Niger. Dans ce pays d'Afrique tropicale sèche, le diagnostic de rareté de la ressource et de risque environnemental du fait des sécheresses joint au caractère largement concurrentiel des usages du bois énergie ont amené à identifier une situation de surexploitation, attribuée à un accès libre « de fait ³⁰ » aux ressources. Il s'agira de modéliser le fonctionnement de ce système ressource-exploitation et de tester les instruments de politiques mis en place, qui renvoient aux recommandations théoriques dans le cas de l'accès libre.

³⁰ Et non de droit, les ressources forestières faisant partie du domaine privé de l'Etat, comme terres vacantes et sans maître.

Conclusion de la première partie.

Dans cette partie, nous avons présenté comment les problèmes de surexploitation, de gestion des écosystèmes sont expliqués par des défauts d'allocation des ressources naturelles dans un contexte naturel et humain donné et stable. La coordination efficace des acteurs individuels et collectifs ne peut être assurée dans l'exploitation de ressources « partagées », en raison des défaillances du marché et de la nature de ces ressources. Les différentes analyses convergent pour recommander des modalités d'interventions afin de se rapprocher des situations préférables du point de vue collectif. Les deux points de vue théoriques sur les solutions, situent la validité des outils dans un contexte de concurrence parfaite³¹.

- celui du contrôle et du pilotage des systèmes de production basés sur les ressources renouvelables par un agent, autorité extérieure, en charge de solutions qui rapprochent l'usage des ressources de l'efficacité économique. Ces objectifs collectifs qu'il représente et les critères d'évaluation de la politique sont pré-établis pour garantir un niveau d'exploitation des ressources efficace (Henri, 1990). Une grande partie des travaux en matière de ressources renouvelables relève de ce champ (pêcheries, forêts)
- celui des conflits d'intérêts entre différents acteurs en interaction, qui agissent en fonction de leur intérêt propre dans un cadre institutionnel donné, qui définit leur domaine de choix possibles et donc les conséquences collectives de ces interactions. Pour atteindre une allocation optimale des ressources, il s'agit de modifier les interactions entre acteurs (« les règles du jeu ») et donc les incitations auxquelles joueurs réagissent dans la détermination de leurs stratégies d'action individuelles.

Des hypothèses fortes caractérisent ce cadre théorique qui sont reprises dans la modélisation des ressources renouvelables :

- a) La première tient à la formalisation d'un individu ou d'une génération d'individus rationnels qui ont le même comportement de maximisation à long terme. Ces modèles ne traitent donc pas des processus dynamiques de comportement.
- b) La recherche porte sur un ajustement à une situation économique, l'optimum, qui s'impose comme donnée de nature (Thébaud, 1999).

³¹ même si cette validité a été étendue à d'autres contextes que la concurrence parfaite (O. Thébaud, 1999).

- c) Les préférences individuelles des agents sont fixées (exogènes aux modèles) et non affectées par des facteurs économiques ou institutionnelles³².
- d) Leur information est parfaite sur les états de leur environnement (ou stochastique).

Ces approches connaissent deux formes de remise en cause :

- une remise en cause de la validité empirique de ces analyses qui assimilent des situations de faible exclusion d'usage avec des situations d'accès libre, qui n'existent pas dans la réalité (Berkes et al, 1989). Les approches néo-classiques sont qualifiées de métaphores trop simples de la réalité et du comportement individuel.
- Une remise en cause analytique de la validité des interprétations du décalage entre le domaine de décision des agents économiques et le domaine des conséquences économiques de leur décision : les modèles considèrent ainsi des agents sans interactions directes dans un espace localisé, sans communication entre eux ainsi qu'un contexte économique, biophysique, technologique considéré comme constant. Modifier ces conditions initiales théoriques a des conséquences en terme de résultats collectifs et d'interprétation de ces résultats (Ostrom, 1990).

³² Ces préférences s'établissent au regard du résultat attendu par rapport à la propre satisfaction des agents : aucune préférence ne fait référence aux autres agents, ni à la répartition.

Partie II. Contexte empirique : la politique de gestion des ressources forestières au Niger.

La représentation du problème de surexploitation, centrée sur les modèles d'accès libre et la question des droits de propriété, sert de cadre à l'analyse des problèmes de gestion durable des écosystèmes. Mais elle sert aussi de référence pour la définition de politiques. Ainsi, le choix de politiques mis en œuvre pour concilier exploitation du bois énergie et conservation des écosystèmes forestiers dans le cas du Niger peut rendre compte d'une lecture des phénomènes observés, inspirée par cette représentation (section 1).

Après plusieurs tentatives de solutions fondées essentiellement sur une approche technique du problème, une nouvelle politique forestière a été mise en œuvre dans les années 80 qui s'appuie sur une Stratégie Nationale Energie Domestique, sur des bases établies par projet Energie II dès 1986-88³³. Sa présentation fait l'objet de la section 2.

Une troisième section abordera les résultats de cette politique, qui, à la suite du projet, combine deux approches :

- une approche sectorielle qui vise d'une part à assurer l'approvisionnement des consommateurs en combustibles ligneux (volet demande³⁴) et à traiter, à travers un volet offre, le problème d'accès libre identifié sur les forêts. Il s'agit de maîtriser les flux de bois sur une filière d'approvisionnement courte et d'orienter la production via un zonage, des quotas globaux d'exploitation et des incitations fiscales.
- Une approche de développement rural local dans lequel s'inscrit le volet offre à travers la décentralisation de la gestion des ressources forestières, une réforme des droits d'usage sur les forêts et une réforme de la fiscalité locale. Notre présentation des résultats concernera exclusivement ce volet.

³³ Le projet Energie II- Energie domestique, est exécuté par la Banque Mondiale sous tutelle du gouvernement Nigérien, avec une assistance technique du groupement CIRAd-Forêt/SEED, sous financement danois (Peltier *et al.*, 1995).

³⁴ Le volet vise aussi à promouvoir des économies d'énergie et rechercher des énergies de substitution, pour stabiliser la consommation au niveau de 1990

ENCADRE 1. Les écosystèmes forestiers contractés : caractéristiques biophysiques

Les caractéristiques des écosystèmes contractés ont joué un rôle dans l'analyse des problèmes liés à leur exploitation. Ces écosystèmes sont peu productifs : les données disponibles situent le capacité de la ressource en zone sèche à environ 18 tonnes par hectare¹. La croissance des espèces qui compose ces écosystèmes² est lente (35 ans). Le taux de renouvellement et la diversité des espèces présentes sont faibles.

• Structure et localisation

La structure spatiale de ces écosystèmes et leur localisation influencent la nature de leur exploitation : les brousses sont situées sur des plateaux au sols trop superficiels pour être mis en culture ; par ailleurs, de nombreuses études signalent « la non pertinence du reboisement des zones nues qui servent d'impluvium pour les zones boisées qui seraient ainsi privées de l'apport hydrique nécessaire à leur croissance » (cf. d'Herbes *et al.*). Cet ensemble de facteurs (isolement, faible productivité, faible diversité) a des conséquences sur la représentation des problèmes liés à leur conservation et à leur gestion : les écosystèmes contractés sont vus comme des systèmes « clos » en équilibre mais fragilisé par l'exploitation d'une ressource forestière rare, et soumis à des évolutions irréversibles du fait de leur dépendance hydrique (impact des sécheresses). Ces caractéristiques ont été largement utilisés pour caractériser ces écosystèmes comme soumis à des risques de surexploitation.

• Pression sur les ressources et potentiel de production

Les zones sèches sur lesquelles sont présents ces écosystèmes forestiers se caractérisent globalement par une faible densité de peuplement mais la situation est plus nuancée si on observe qu'au Niger 90% de la population vit au Sud du pays sur 12% de la superficie où se situent également les centres urbains (Foley *et al.*, 1997 : 12) (cf. carte en annexe 3).

La pression sur les ressources peut être qualifiée de forte si on la définit comme le rapport entre besoins humains et le rendement annuel de la ressource par unité de surface (production soutenable). Au Niger, on estime ainsi que pour fournir la consommation de 100 personnes, 60 à 230 ha de brousse sont nécessaires³. A titre de comparaison, compte-tenu des rendements des écosystèmes forestiers tropicaux humides, il faut environ 4 ha en zone humide. L'estimation de la production maximale durable fournit pour le Niger un potentiel de production théorique global de 400 000 tonnes par an dont 226 000 tonnes dans un rayon de 100 km autour des villes de Niamey, Maradi et Zinder (Projet Energie II, 1996 ; Banque Mondiale, 1997).

¹ Source A. Ichaou, in d'Herbes, 1996, op. cit. Cette capacité est évaluée en période de plein croissance, en saison des pluies.

² Combretacées, acacias, baobab, palmiers, tamariniers...

³ le besoin en bois énergie est estimé à 0,6 à 1 kg/habitant/ an soit une consommation annuelle par habitant de 200 à 325 kg Foley et al. 1997 : 19). Le renouvellement annuel de la ressource est estimé selon les sources de 140 Kg à 350 Kg/hectare et par an (sources : données Niger, Montagne 1995, Ichaou in d'Herbes et al. , 1996.)

21. Ecosystèmes forestiers au Niger : un cas de surexploitation des ressources ?

Dans cette section, nous présenterons les caractéristiques des écosystèmes forestiers au Niger et de leur exploitation qui ont abouti à un diagnostic de surexploitation ainsi que les premières solutions proposées dans les années 70 et 80.

211. Le constat : écosystèmes et exploitation

Les écosystèmes forestiers présents dans la zone sahélienne sont connus sous le nom d'écosystèmes contractés. Ces formations végétales se retrouvent dans tous les pays arides et semi-arides (Sahel, Amérique centrale, Australie). Leur caractéristique commune en est que la ressource bois est diffuse et isolée dans l'espace. Au Niger, ces formations occupent de larges superficies de plateaux latéritiques ³⁵ situées entre le 13^{ème} et le 15^{ème} parallèle. Au nord du 15^{ème} parallèle, l'insuffisance des précipitations bloque leur développement. Au Sud, du 13^{ème} parallèle, elles sont remplacées par une savane arbustive plus homogène (d'Herbes *et al.*, 1996). Trois types de brousses arbustives les composent : Au nord domine la brousse tigrée, de forme linéaire, qui se caractérise par des surfaces de sols nus juxtaposées à des surfaces boisées et au Sud, se trouvent la brousse tachetée, de forme diffuse, et la brousse mixte (Cf. encadré 1 ci-contre sur les caractéristiques bio-physiques des écosystèmes contractés).

A. Modes d'exploitation des écosystèmes forestiers au Niger.

Ces écosystèmes sont exploités pour la fourniture du bois-énergie³⁶ ou bois de chauffe destiné essentiellement aux besoins de consommateurs urbains. Les trois centres urbains de consommation principaux sont Niamey, Zinder et Maradi. Le bois-énergie représente 20 % des dépenses alimentaires des ménages soit une faible part du budget (Bertrand & Madon, 1995). La consommation du bois est en forte croissance : pour la seule ville de Niamey, elle est passée de 97 000 tonnes en 1987 à 130 000 tonnes en 1991 et 160 000 tonnes en 1997.

Les formations végétales à proximité des villes sont soumises à une exploitation plus forte que les formations éloignées : la majeure partie de l'exploitation se fait dans un rayon de 150 km autour des villes (Ribardièrre, 1998, Foley *et al.* 1997). L'exploitation est donc plus ciblée sur des zones que sur des espèces particulières. Elle est de plus concentrée en saison sèche, d'octobre à mai. D'autres usages et aménités de ces écosystèmes forestiers peuvent être mentionnés : pâturage, chasse, cueillette

³⁵ Un tiers de la superficie du pays (Montagne, 1996).

³⁶ Selon les statistiques FAO, l'usage énergétique du bois représente 50% de la consommation mondiale, contre 25% pour le bois d'œuvre et 17% pour la pâte à papier. En Afrique sub-saharienne, le bois représente 85% de la consommation énergétique (Source : World Bank, 1996).

de gommages, d'écorces et de fruits, lieu d'habitat de la faune sauvage (girafe), fourniture d'eaux de ruissellement utilisable par les agriculteurs (d'Herbes *et al.*, 1996). L'intensité du pâturage est également en croissance avec l'afflux de troupeaux du Nord suite aux sécheresses des années 75 et 80³⁷. Le Niger fait partie des pays où l'exploitation du bois-énergie est dominante par rapport aux autres usages et où de larges populations dépendent de ces ressources.

Les analyses menées quant à la pression sur les ressources bois-énergie s'inscrivent dans le débat sur la relation population-pauvreté-déforestation, le « nexus » identifié par la Banque Mondiale (Buttout, 1998). L'analyse fait l'hypothèse que l'augmentation de l'accès libre et de la dégradation des écosystèmes forestiers est liée à la croissance de la population donc de la demande et est influencée par la pauvreté et l'absence d'alternatives économiques des populations³⁸.

B. Filière et demande à long terme

L'exploitation des ressources forestières est artisanale et joue au Niger un rôle non négligeable au niveau local et national. Ces écosystèmes se prêtent mal à une exploitation à grande-échelle et la filière artisanale du bois énergie était décrite par les études préliminaires à la mise en œuvre de la politique, comme fortement concurrentielle et difficile à appréhender (Madon et Matly 1988) : la filière était caractérisée par la présence d'un important secteur du commerce de gros, saisonnier, qui s'appuyait sur l'activité de bûcherons salariés par les commerçants. La concurrence était importante dans ce secteur, qui intégrait donc les activités de production et de transport du bois. Les nombreux commerçants étaient d'origine urbaine et pour la plupart non spécialisés dans le commerce du bois, voire même pratiquaient cette activité de façon ponctuelle. Dans ce contexte, la valeur stratégique de l'information pour ces opérateurs rendait l'information sur leur activité et leurs coûts peu disponible.

Les populations villageoises des zones forestières n'étaient pas intégrées à la filière commerciale bois-énergie. Elles pratiquaient une monoactivité agricole (céréaliculture intensive associée ou non à l'élevage), dépendante de la présence des écosystèmes forestiers pour leur rôle quant à la disponibilité de la ressource hydrique et leur rôle de réserve foncière. La collecte de bois-énergie par ces populations servait à leur autoconsommation³⁹. En outre, elles n'avaient aucun contrôle quant à l'accès des commerçants transporteurs aux brousses situées sur les terroirs villageois coutumiers.

³⁷ Mais plusieurs études montrent que le pâturage et la cueillette ne sont pas incompatibles avec la régénération forestière à condition de règles fixant une charge de pâturage ou un prélèvement autorisé (d'Herbes *et al.*, 1996)

³⁸ de nombreuses études empiriques s'attachent à montrer que ce raisonnement global automatique peut être mis en cause par l'analyse des plus fortes dégradations de ressources renouvelables qui sont plutôt associées à un manque qu'à un excès de population (Cf Leach et Moorhead, 1996 pour les ressources forestières, Locatelli 1999).

³⁹ En complément du bois de défiche agricole dont l'importance décline avec la réduction des jachères.

Selon les études menées en préalable au projet Energie II, deux facteurs principaux ont une influence sur la demande à moyen terme de bois énergie : d'une part, la croissance démographique urbaine, qui s'élève à 4,5% par an pour la ville de Niamey entre 1977 et 1988 ; d'autre part, une réduction possible de la consommation, du fait de la substitution du bois énergie par d'autres sources d'énergie domestique, du développement d'incitations aux économies d'énergie et de la croissance de la pauvreté. Mais il semble que la demande à long terme de bois énergie soit influencée par deux tendances lourdes dans les pays en voie de développement : l'usage potentiel du bois pour la production d'autres énergies (Marty, 2000) qui joue à la hausse et la perspective d'une demande de conservation des écosystèmes forestiers comme puits de CO₂ dans le cadre des politiques de lutte contre l'effet serre, qui joue à la baisse.

En conclusion, les analyses des ressources et de leur stock, des agents affectés par ses usages ont abouti à un constat sur les risques liés à la non préservation du potentiel de renouvellement des écosystèmes contractés. Ces risques concernent :

- d'une part, l'usage du bois comme source d'énergie, qui fait l'objet d'une demande urbaine croissante sans possibilité de substituer à moyen terme le bois par une autre source ;
- d'autre part, l'existence d'une ressource forestière limitée, qui est soumise à une forte pression à proximité des villes et au bord des axes routiers.

L'analyse montrait le décalage entre valeur de la ressource forestière pour les diverses communautés d'usagers et la quasi gratuité de celles-ci en l'absence de règles collectives. Cette situation pouvait être analysée comme la conséquence d'un accès libre aux ressources de ces écosystèmes.

212. Le contexte institutionnel et les politiques de gestion des ressources forestières.

A. Forêts et droits sur les forêts au Niger

L'indépendance n'a pas modifié au Niger le statut des forêts instauré à l'époque coloniale, qui associe droit moderne et droit coutumier : l'Etat est propriétaire unique des forêts considérées comme des terres vacantes et sans maîtres, c'est à dire non agricoles⁴⁰ ; mais les règles coutumières établissent que la terre appartient à celui qui la défriçhe.

Avant la mise en œuvre de la nouvelle politique forestière et de la Stratégie Nationale Energie Domestique, la situation au Niger est donc celle d'une appropriation des forêts par l'Etat, avec des droits sur l'accès et l'usage des espaces forestiers accordés aux acteurs économiques (villageois,

⁴⁰ L'argument fréquent justifiant l'intervention de l'Etat, est qu'il est considéré comme le plus à même de faire des investissements pour préserver le capital forestier à long terme, investissements qui seraient contraires à la rationalité des acteurs privés. Cf. Karsenty, 1999, pour une analyse de cette question en lien avec le débat théorique sur l'actualisation.

commerçants). Les agences nationales et ministères sont en charge de définir et instaurer des règles techniques relatives à certains usages (permis de coupe, interdictions, ...). Dans ce contexte, l'exploitation forestière était alors le fait des transporteurs-commerçants, titulaires de permis de coupe et employeurs de bûcherons salariés, qui approvisionnaient les marchés urbains.

L'Etat Nigérien étant le propriétaire unique des forêts, la situation équivalait à l'attribution d'un droit d'usufruit généralisé aux transporteurs. Les villageois, dont le terroir supportait ces forêts, étaient rarement concernés par l'exploitation forestière : ils n'avaient aucune influence sur la fixation du niveau de prélèvement sur les forêts de leurs terroirs et ne faisaient qu'exceptionnellement partie de l'effectif salarié des transporteurs. En conséquence, la croissance de la consommation de bois-énergie depuis les années 70 n'avait eu aucun effet sur les revenus paysans.

B. Des politiques aux résultats mitigés

Des années 70 à la fin des années 80, plusieurs politiques et projets se sont succédées pour assurer une meilleure gestion et protection de ces espaces par l'Etat, et pour permettre une insertion des paysans dans la filière (cf. Bertrand, 1995). Elles ont reposé principalement sur des mesures réglementaire.

Des interdictions de coupe de bois vert ou de pâturage existent sur les espaces forestiers qui relèvent du domaine public de l'état ou domaine protégé mais elles sont peu respectées et source de conflits.

Des mises en réserves forestières sont effectuées notamment avec le maintien d'un réseau de forêts classées, qui font partie du domaine privé de l'Etat. Situées dans le sud du pays, elles sont gérées et contrôlées par les services forestiers. Les problèmes et le coût de ce contrôle sont fréquemment mentionnés.

Des essais de restauration des écosystèmes par plantation menés dans les années 70

Les programmes de plantations industrielles d'espèces non indigènes (eucalyptus et neem) pour la fourniture de bois-énergie, mis en œuvre par l'Etat et des projets, ont été rapidement remis en cause pour deux raisons principales:

- d'une part, les investissements nécessaires pour les plantations industrielles étaient trop importants, de l'ordre de 1000\$ par hectare (Foley *et al.*, 1997); ils n'ont pu être réalisés qu'à une petite échelle, individuelle, ce qui a réduit leur portée⁴¹ (Bertrand et Madon, 1995).
- d'autre part, la productivité insuffisante (1m³ par hectare et par an) de ces plantations et le faible prix du bois au consommateur, n'ont pas permis d'assurer leur rentabilité.

⁴¹ Pour une analyse économique détaillée de ces programmes de plantation et des coopératives forestières cf. Bertrand et Madon, 1995.

Des coopératives d'exploitation du bois dans les années 85

Des essais de coopératives forestières ont mis en œuvre par les services forestiers sous l'impulsion de différents projets au milieu des années 80. Ils reposaient sur une approche en terme de plan de gestion et de règles de rotation de l'exploitation, qui s'appliquait sur des parcelles identifiées dans les espaces forestiers entourant plusieurs villages. Les projets prévoyaient aussi des plantations et des mesures de réhabilitation auxquels « participaient » des villageois réunis en coopératives en échange de l'autorisation de collecte et de vente du bois-énergie. Les services forestiers étaient en charge du choix des parcelles à couper et des ventes de bois au profit des coopératives réunissant plusieurs villages.

En dépit de réussites techniques (Foley et al. 1977) et financières (Montagne *et al.* 1994, Bertrand et Madon, 1995), le bilan qui est fait de ces essais est largement mitigé en raison :

- de problèmes d'accès aux zones autorisées pour la collecte, très éloignées des villages aboutissant à une désaffection des villageois et des conflits entre villages;
- de conflits entre les coopératives villageoises et les services forestiers, qui avaient une interprétation très stricte des plans de gestion et des règles de rotation, en interdisant tous les autres usages (collecte de fruits, paturage...);
- d'une implication des paysans à la gestion qui était réduite au salariat des paysans promus « bûcherons ».

En conclusion :

A la fin des années 80, les analyses de la situation identifiaient deux types de problèmes relatifs au contexte institutionnel de l'exploitation forestière :

- l'absence de contrôle des espaces forestiers par l'Etat, propriétaire des forêts, qui avait abouti à une situation d'accès libre de « fait » (et non de droit J. Weber, 1995).
- La difficulté de mettre en œuvre des actions (plantations) ou des restrictions collectives limitant l'usage des ressources, qui ne soient menacées par des « passagers clandestins » (entrée sans contrainte d'opérateurs dans le secteur du commerce du bois, non respect des interdictions, non participation aux actions collectives).

22. Des solutions nouvelles ?

A la fin des années 80, la définition d'une politique adaptée au contexte devait répondre aux deux questions suivantes :

- Quels instruments alternatifs mettre en place qui soient compatibles avec les intérêts des acteurs (les consommateurs, les opérateurs de la filière et les agriculteurs en particulier) et plus efficaces que les mesures réglementaires (réserves, interdiction de coupe...), pour lutter contre la surexploitation des écosystèmes forestiers contractés sahéliens ?
- Comment, à quel(s) niveau(x) et par quelles procédures doivent-ils être mis en œuvre ?

Des réponses ont été apportées progressivement par le projet Energie II, puis la stratégie Energie Domestique (SED) et la nouvelle politique forestière, qui ont profondément modifié le contexte institutionnel et par conséquent les modalités d'exploitation du bois énergie et proposé des solutions aux problèmes de surexploitation. Les droits de propriété sur les forêts (au sens large) ont été redéfinis puisque l'Etat a alloué, sur certains espaces et sous certaines conditions, des droits *exclusifs* aux Communautés villageoises sur les forêts de leurs terroirs. Des instruments réglementaires et incitatifs d'une politique de gestion des ressources forestières ont été mis en place.

La mise en œuvre de cette politique s'est enfin traduite par un changement d'organisation de la filière. La caractéristique des solutions proposées est de viser à orienter le système dans la direction choisie (préserver la ressource, fournir du bois à un prix acceptable aux consommateurs) en laissant au jeu des interactions entre acteurs fixer les contraintes compatibles avec la viabilité du système économique.

221. Des instruments incitatifs : taxe différentielle et marchés ruraux.

L'hypothèse qui domine le diagnostic de la situation, reprise la préparation du projet Energie II, est donc qu'en l'absence de contrôle de l'accès (ici celui des transporteurs commerçants et de leur salariés), dans un contexte donné (institutionnel, économique, écologique, technologique), on observe nécessairement une surexploitation des espèces ou des zones les plus recherchées : on retrouve les caractéristiques⁴² des modèles d'accès libre. Les ressources provenant des zones les plus proches des routes et lieux de consommation urbains sont majoritaires dans la production, ce qui n'est pas souhaitable, les zones de plus grande valeur pour les commerçants étant exploitées en premier. Dans le

⁴² cf. le modèle de Gordon, 1954 qui dans le domaine halieutique présente ces conclusions pour un modèle à une espèce et plusieurs sites.

contexte institutionnel existant, en poursuivant des stratégies rationnelles, les acteurs de l'exploitation des forêts aboutissent à une surexploitation des ressources dont leur activité dépend.

Le dispositif incitatif mis en place en 1992-1993 pour apporter une solution à ces problèmes⁴³ comprend trois composantes principales : fiscale, redistributive, institutionnelle.

A. Un système de taxation différentielle

L'exploitation est intégrée à la politique forestière avec la mise en œuvre d'un système de taxation à large assiette qui porte sur l'ensemble des ressources forestières du pays. Il a plusieurs caractéristiques :

- La taxation est incitative : elle vise à inciter les stades intermédiaires de la filière (transporteurs et commerçants) à s'approvisionner en bois provenant de zones spécifiques où l'exploitation est contrôlée totalement ou partiellement (zones dites orientées ou aménagées cf. infra). Ainsi la taxe payée par les opérateurs pour le bois issu de ces zones est inférieure à celle payée pour les bois issus de zones incontrôlées (cf. tableau 2). L'hypothèse est faite, qu'une taxe plus élevée pour les zones incontrôlées fournira un signal qui incitera les opérateurs à s'approvisionner sur les autres zones, le prix d'achat du bois étant considérée comme homogène sur l'ensemble des zones.
- La taxe est une taxe unitaire : elle est payée par les transporteurs sur les volumes achetés et commercialisés. Son taux est fixé administrativement et est théoriquement indexé sur le cours du bois. Elle équivaut à fixer un prix d'accès à la ressource ou à donner une valeur au bois sur pied selon la terminologie de la Banque Mondiale.
- La taxe est une taxe différentielle : Son montant est fonction des zones d'origine du bois ; elle est plus élevée à proximité des villes et décroît avec la distance des zones exploitées à la ville (-10% à plus de 40 km des villes, -20% à plus de 80 km).

Le système de taxation choisi s'inscrit dans une politique générale de prix et de fiscalité touchant toutes les ressources forestières exploitées. Il est conçu dans le sens d'une fiscalité incitative, qui permet un traitement différencié par zone, favorise le prélèvement sur les zones moins prisées par les opérateurs, réduit l'avantage d'exploiter les zones peu enclavées. Il rend compte d'une rareté relative de la ressource et assoit la valeur de la redevance sur la valeur économique de la ressource, et non seulement sur des critères biologiques. Mais sa mise en œuvre nécessite un contrôle important : un

⁴³ Il a été mis en place dans le cadre d'une loi de finance : Ordonnance de 92037 qui réglemente le commerce et le transport du bois.

système de traçabilité des flux de ressource a donc été mis en place sous forme de coupons de transport.

Tableau 2: La taxe différentielle

Taxe en FCFA/kg (<i>forfaitaire au camion pour la zones incontrôlée</i>)	Zone contrôlée	Zone orientée	Zone incontrôlée
Décret 1992	350	375	600
1993	300	350	600
1997	350	350	975

Source : Peltier et al. 1995, Ribardièrre 1998.

La taxation de l'accès à la ressource, fondée sur une règle d'efficacité économique, supposait que soient précisés les droits retenus au niveau collectif, ce qui est fait par la loi. Les zones incontrôlées continuent à relever du domaine de l'Etat. Mais une partie des zones forestières (dites orientées ou aménagées) sont identifiées comme relevant des terroirs coutumiers villageois⁴⁴. Les aires de coupe sont des espaces où les droits fonciers coutumiers sont reconnus. L'exploitation par les commerçants et bûcherons devient alors une exploitation privative des ressources collectives ou publiques justifiant le paiement d'une compensation à la collectivité.

Cette reconnaissance des droits coutumiers allait de pair avec le droit attribué aux paysans d'exploiter les ressources forestières et d'être intégrés à la filière. Les paysans passent d'une mono-activité agricole ou pastorale à une pluri-activité incluant les activités de bûcheronnage. Cette disposition répond à l'objectif de la politique de redistribuer les revenus de l'exploitation forestière aux populations auparavant exclues du partage des bénéfices.

B. Une logique de redistribution des revenus et de transfert des droits

La logique de redistribution des revenus est présente également au travers d'une disposition relative à la répartition des ressources fiscales: le montant global de la taxe est affecté selon une grille de répartition fixée par la loi, entre les communautés villageoises, l'Etat et les collectivités locales (cf. tableau 3).

Une fraction de la taxe est donc affectée pour le financement des communautés villageoises, institutions sans structure juridique. Une des critiques de cette disposition est faite par Karsenty (1999)

⁴⁴ Il ne s'agit donc pas d'une réforme foncière : la reconnaissance juridique des droits coutumiers ne porte que sur les espaces non agricoles. Source A. Bertrand, 1995

qui signale que la répartition n'est pas décidée dans une initiative de gestion négociée, contractuelle qui fixerait les droits et les devoirs des parties (Karsenty 1999).

Tableau 3: Répartition des recettes fiscales

% attribué à	Zone contrôlée	Zone orientée	Zone incontrôlée
Communauté rurale	50 %	30%	-
Collectivité territoriale	40%	20%	10%
Etat	10%	50%	90%

Source : Peltier et al . 1994, Foley et al. 1977.

L'utilisation des fonds attribués aux communautés rurales est décidée en partie au sein des communautés dans une proportion également décidée par la loi : pour les marchés orientés, 60% des recettes villageoises des communautés rurales et des collectivités territoriales doivent être allouées à l'aménagement forestier, l'utilisation des autres 40 % étant libre. Pour les marchés contrôlés, les pourcentages sont respectivement de 40 et 60%.

C.La création de marchés ruraux

Enfin, la loi créait une institution à l'échelle des communautés villageoises : les marchés ruraux du bois-énergie, afin d'organiser les interactions entre acteurs de la filière.

Cette structure présente plusieurs caractéristiques :

- il s'agit d'un lieu de marché, approvisionné par des ressources forestières provenant d'une zone délimitée, orientée ou contrôlée et seul habilité à vendre le bois-énergie issu de ces zones. Il n'existe pas de marchés ruraux en zone incontrôlée. Le fonctionnement des marchés ruraux liés à des zones définies revient à une obligation des commerçants d'être agréés et de s'approvisionner sur un marché plutôt que prélever directement dans le milieu ou par des négociations bilatérales avec des collecteurs.
- Il modifie le contexte concurrentiel des échanges de bois. L'approvisionnement des commerçants en bois issu des zones orientées et contrôlées se fait via ce marché rural où se réalise la confrontation de l'offre des collecteurs-paysans et de la demande des transporteurs commerçants. Au démarrage des marchés ruraux, les prix sur le marché rural étaient fixés mais ils sont maintenant le plus souvent le résultat d'une négociation commerciale libre. En 1993, ces prix étaient supérieurs de 60% aux prix relevés en dehors de marchés ruraux (Bertrand et Madon, 1995).

- Un marché rural est géré par une structure locale de gestion agréée, formée d'une organisation d'exploitants reconnus⁴⁵. Cette structure commercialise le bois, prélève la taxe directement à la source et est chargée de la redistribution de la taxe⁴⁶. Les recettes de la vente du bois sont des recettes privées des exploitants. C'est au niveau de l'institution marché rural que les recettes de la taxe redistribuées à la communauté rurale sont gérées afin de décider de leur affectation.

La loi a donc créé un cadre institutionnel commun, qui définit les droits des différents acteurs (un environnement institutionnel au sens de North, 1971), ainsi que les modalités d'arrangements institutionnels entre acteurs sous forme de marchés ruraux.

222. Des instruments réglementaires

Les zones, lieux géographiques d'intervention de la politique sont choisies sur la base d'une évaluation scientifique du potentiel biologique dans les bassins d'approvisionnement des centres urbains. Des sites sont pré-identifiés comme origine des flux d'approvisionnement urbains. Sur ces sites, sont élaborés au préalable des inventaires de la ressource, un zonage et des schémas directeurs d'approvisionnement des villes qui tiennent compte des contraintes géographiques, techniques et sociales. Sont aussi mis en place des quotas d'exploitation à l'échelle des zones.

A. Définition des zones d'intervention

Les zones d'intervention ou zones prioritaires de la politique sont définies selon plusieurs critères :

- l'accessibilité des sites, la proximité de la ville et leur potentiel forestier;
- la nécessité d'une restriction de l'exploitation du bois vert et d'un aménagement forestier ;
- la présence de pâturage et la nécessité d'aménagement agro-sylvo-pastoral.

Trois types de zones d'exploitation sont délimitées d'un commun accord entre la population locale, la structure locale de gestion des marchés ruraux et l'administration de l'environnement (Bertrand, 1995):

- des zones contrôlées, situées dans le Sud, à proximité des plateaux les plus boisés, des axes de communication et dans un rayon de 40 à 50 km autour des principales villes . Des règles d'exploitation sont fixées, un contrôle de la coupe est effectué dans le cadre d'un aménagement forestier⁴⁷

⁴⁵ sur le choix des membres du bureau et le rôle d'animation, formation de la structure de gestion cf. Bertrand, 1995.

⁴⁶ Le prélèvement à la source a pour objectif d'éviter les problèmes de recouvrement, problème souvent évoqué dans le cas des taxes et redevances forestières d'exploitations (cf. Grut et al, 1991)

⁴⁷ les zones d'approvisionnement des marchés ruraux étant mises progressivement sous aménagement villageois (Bertrand, 1995)

- des zones orientées avec un contrôle de la coupe. Ces deux types de zones relèvent de marchés ruraux villageois.
- des zones incontrôlées, difficilement accessible en hivernage où l'exploitation incontrôlée est légalisée.

Pour le bassin d'approvisionnement de la ville de Niamey, où les superficies forestières occupent plus de 2 millions d'hectares, les zones orientées et contrôlées représentent 14 % des surfaces. Sur les deux autres bassins de Zinder et Maradi, dont les superficies forestières sont plus réduites (0,5 million d'hectares), elles occupent environ 55% (Projet Energie II, 1996).

B. Mise en place de quotas globaux.

Des quotas annuels globaux ont été définis, pour appuyer les objectifs de la politique : équilibrer la pression d'exploitation entre différentes forêts villageoises, augmenter les prélèvements par unités de surface sur certaines zones et favoriser des pratiques à faible impact sur le milieu,. Le quota est fixé à un volume égal ou inférieur à la capacité du massif (cf. tableau 4).

Tableau 4: Règles d'exploitation et quotas sur zones.

	Zone contrôlée	Zone orientée	Zone incontrôlée
Règles d'exploitation	Interdiction de collecte du bois vert	Collecte de bois mort et Autorisation bois vert de défriche Forêt non aménagée	Collecte de bois mort Collecte de bois vert autorisée Forêt aménagée : techniques de coupe ; règles de rotation
Quotas		Quota global sur bois mort	Quota global sur bois mort et bois vert

En conclusion, la présentation succincte des instruments mis en œuvre illustre une tentative de lier :

- une limitation de l'exploitation du bois-énergie par des quotas globaux et des règles techniques, fondée sur l'analyse biologique des stocks et de leur potentiel de renouvellement pour en déduire des quantités exploitables ;
- l'efficacité économique par des instruments incitatifs fondés principalement sur la composante bois-énergie des écosystèmes mais permettant de prendre en compte les autres usages.

23. Les résultats de la politique

231. Les effets sur la ressource, le marché, la filière.

La littérature portant sur cette expérience met en évidence plusieurs effets de cette politique (cf. tableau 5.)

Tableau 5 : Elements d'un bilan de la politique

Effet sur la ressource	<ul style="list-style-type: none"> - Peu de réduction des coupes de bois vert voire même une croissance sur de nombreux sites (d'Herbes et al. 1996). - Moindre dispersion des zones géographiques d'origine du bois (Bertrand, 1995)
Effet sur la satisfaction de la consommation urbaine ⁴⁸	<ul style="list-style-type: none"> - Croissance du prix à la consommation , en raison des taxes en parties répercutées dans le prix⁴⁹ : de 20F/ kg en 1989 à 25F/kg en 1995. - Importance des marchés ruraux dans l'approvisionnement des villes principales : pour Niamey , de 0,5% en 1992 à 20% en 1997.
Effet sur l'organisation de la filière	<ul style="list-style-type: none"> - 50 marchés ruraux créés dont 40 autour de Niamey. 100 prévus en 2000 ; en deçà des prévisions (Montagne, 1995). - Concentration de la filière : sortie des entreprises marginales du secteur du transport-commerce ; professionnalisation et gains de productivité des opérateurs restants⁵⁰. - Rôle du bois dans l'économie villageoise : de 21% des revenus pour les agriculteurs à 4% pour les agropasteurs (Montagne, 1995) ; Mais un développement de l'activité limité : utilisation de manœuvres saisonniers qui exploitent pour le compte du détenteur villageois de la carte professionnelle de bûcheron.

Ces résultats peuvent être discutés du point de vue de l'aspect incitatif du système de taxation, et du rôle des instruments réglementaires.

⁴⁸ Du point de vue du volet demande de la politique, on observe, au Niger, à la différence d'autres pays africains comme le Sénégal, un échec des énergies de substitution au bois-énergie : le bois assure une régularité et une proximité des approvisionnements alors que le pétrole reste non compétitif et que le gaz est limité par des questions d'équipement (Marge, 1998).

⁴⁹ Une des hypothèses faite par la banque Mondiale lors de son évaluation de la politique est que cette croissance du prix est moindre que celle qui aurait eu lieu sans politique de lutte contre la dégradation des forêts (Foley *et al*, 1997)

⁵⁰ 20 commerçants représentaient en 1998, la moitié des flux, avec un niveau d'investissement de 1 à 4 camions. L'autre moitié de l'approvisionnement était assurée par une centaine d'opérateurs ponctuels possédant un seul camion ou camionnette. En 1984, plusieurs centaines de transporteurs commerçants opéraient avec un taux d'équipement plus faible. (Ribardièrre, 1988).

232. Evaluation de l'aspect incitatif des instruments

Le système de taxation mis en place a une assiette large, l'ensemble des bois exploités, et concerne essentiellement le secteur du transport et du commerce. Le projet et la politiques sont trop récents pour disposer d'une évaluation de l'impact de la fiscalité différentielle ou de celui de la redistribution de la taxe, dont les enjeux sont très importants dans une perspective de décentralisation et de développement local. Mais son aspect incitatif peut être discuté du point des vue des différents acteurs.

A. Pour les opérateurs de la filière

Le système de taxation vise essentiellement à modifier l'origine des flux d'approvisionnement du bois par des incitations destinées essentiellement aux opérateurs du transport et du commerce.

Le principe en est de rendre leurs pratiques d'approvisionnement sur les zones hors marchés ruraux moins efficaces pour eux, car ils doivent intégrer dans leurs coûts une compensation à l'exploitation d'un stock menacé sous forme d'une taxe plus importante : leur décision est fondée sur la comparaison entre le niveau de taxe et le coût marginal de l'amélioration de leurs pratiques.

Dans un premier temps, des signaux non adéquats ont été adressés aux opérateurs pour plusieurs raisons : la faiblesse du taux de fiscalité, la faible différence entre taux de taxe applicable aux zones incontrôlées et à celles soumises à contrôle en rapport aux prix, et la faiblesse (ou l'absence) des sanctions en cas de non-versement de la taxe. Seules les entreprises marginales ont été contraintes à sortir du secteur mais peu de modifications sont intervenues pour les autres entreprises : la taxe était perçue comme un simple coût supplémentaire sans effet incitatif du fait des prix et marges dans le secteur. La logique n'était pas poussée au bout avec un taux de taxe pas assez désincitatif pour les « mauvais joueurs ».

Dans un second temps, le niveau de taxe a été augmenté, principalement pour les zones incontrôlées où la tarification se fait au niveau forfaitaire (le chargement estimé d'un camion) et non au kg. Mais le problème se pose de choisir un taux plus élevé qui ne constitue pas un handicap pour une filière hétérogène du point de vue des entreprises

Ce cas illustre deux caractéristiques des systèmes de taxation incitatifs :

- la difficulté de fixer un taux de taxe optimale en relation avec le marché : Les problèmes du marché fluctuant et de la faible flexibilité de la taxe peuvent être soulignés.
- La difficulté d'en évaluer à priori l'impact sur les pratiques : les opérateurs économiques ne constituent pas une catégorie homogène, l'effet incitatif de la taxe dépend en effet des processus de décision (risques, contraintes, objectifs) de ces opérateurs.

B. Pour l'Etat

Une partie de la taxe provenant de l'exploitation des zones forestières relevant des marchés ruraux est transférée à l'Etat. La taxe provenant des zones incontrôlée est directement perçue par les services forestiers.

La taxe relève d'une double logique : une logique budgétaire d'approvisionnement du budget de l'Etat, avec un taux relativement faible et une large assiette portant sur l'ensemble des bois exploités ; une logique environnementale qui est de réduire les attitudes dommageables au travers de l'incitation à s'approvisionner sur les zones à contrôle partiel ou total.

Deux facteurs peuvent renforcer le caractère incitatif indirect du système mis en place :

- l'Etat et les services forestiers ont vu le volume total des taxes qui leur sont affectées augmenter, leur donnant les moyens de financement de la politique et de son contrôle.
- L'utilisation des fonds pour des opérations forestières de long terme montre la volonté de l'Etat d'investir dans la gestion forestière et peut influencer sur le comportement des autres acteurs de la filière.

C. Pour les paysans

Le caractère incitatif de la taxe n'est pas direct. Il est lié à la répartition d'une fraction de la taxe aux communautés rurales et à son utilisation. L'évaluation de l'aspect incitatif indirect de la taxe peut se faire au travers de deux enjeux de sa redistribution au niveau individuel et au niveau collectif :

- la modification des comportements : la redistribution de la taxe est vue comme un moyen de faire passer les paysans, devenus exploitants d'une ressource forestière dont les revenus leur échappaient auparavant, d'une stratégie de simple collecte de rente à court terme à une prise en compte du long terme.
- l'orientation des dynamiques de développement local : la possibilité de bénéficier de taxes peut inciter à investir collectivement dans l'arbre, et à maintenir un volume exploitable dans le temps, l'existence des marchés ruraux devant garantir l'absence de passagers clandestins. Par ailleurs, l'entente au niveau de la structure de gestion du marché rural sur la répartition des revenus offre la possibilité d'utiliser les fonds pour des opérations de développement. Plusieurs exemples sont mentionnés d'usage social des ressources fiscales des marchés ruraux et depuis peu d'une affectation à l'aménagement forestier (Montagne 96, Bertrand 95).

Néanmoins, il reste difficile d'évaluer le degré de structuration et de responsabilisation des communautés villageoises au regard des ressources forestières (Karsenty, 1999).

D. Des difficultés de mise en œuvre

Plusieurs difficultés de mise en œuvre de ces instruments sont aussi mentionnées par les différents bilans effectués.

Le paiement de la taxe

On estime que le contrôle du paiement de la taxe couvre 52% du trafic commercial entre les zones forestières et les villes. De ce fait, le paiement de la taxe pour le bois issu des zones incontrôlées, qui est effectué directement dans les postes forestiers et sans contrôle des lieux de coupe des bois transportés, est peu respecté. Les transporteurs, et parmi eux les plus importants, vont de plus en plus loin pour rechercher des zones incontrôlées : la politique a donc abouti à développer de nouvelles zones incontrôlées en libre accès, au lieu d'orienter le trafic en direction des marchés ruraux.

L'accès aux zones orientées et contrôlées

La possibilité de disposer de revenus et de taxes liées à l'exploitation forestière amène à une course au quota global entre paysans-collecteurs en concurrence au sein des marchés ruraux et à une concurrence entre marchés ruraux villageois. Cette concurrence est à l'origine d'un moindre contrôle de l'accès aux ressources dans les zones orientées et contrôlées. Dans une filière où la collecte est concurrentielle et l'activité de transport-collecte est un oligopsonne, les transporteurs ont la possibilité de jouer d'un effet de cartel.

Le contournement de la réglementation

Des coupons de couleurs différentes ont été mis en place qui attestent du paiement de la taxe sur les marchés ruraux (donc de l'origine du bois) ou hors marchés ruraux. Ils sont délivrés par les marchés ruraux ou l'administration forestière (pour les zones incontrôlées). On a assisté à la création spontanée d'un marché de droits des coupons, les transporteurs offrant un prix pour des coupons leur permettant de payer une taxe moins importante pour des bois provenant de zones incontrôlées.

Conclusion de la seconde partie

La nouvelle politique forestière du Niger et la stratégie Energie domestique ont une double dimension :

- une dimension liée à la répartition des ressources forestières et des bénéfices retirés de leur exploitation. La solution retenue retient plusieurs critères susceptibles de fonder la redéfinition des conditions d'accès aux forêts : le terroir villageois (définition physique des zones forestières), les usagers actuels des espaces forestiers, la reconnaissance des autres usages (pastoralisme).
- une dimension liées à meilleure allocation des ressources forestières et à la gestion durable des écosystèmes. Les solutions retenues portent sur des règles techniques (quotas, zonage) mais aussi sur des instruments incitatifs, visant à ajuster les conditions d'usage des ressources : redistribution des ressources fiscales issues de l'exploitation forestière et création des marchés ruraux sont des instruments

Plusieurs facteurs de leur mise en œuvre sont à prendre en compte pour une évaluation des effets de ces instruments .

- a) l'instrument marché rural recrée une limitation d'accès à la ressource (fin de l'accès libre) sans lui faire perdre son caractère de ressource partagée à l'intérieur d'une communauté bien identifiée. Cependant, il fait reposer sur une modification de l'organisation des transactions marchandes portant sur la ressource, la solution pour une meilleure allocation des ressources, allocation mise à mal par un dysfonctionnement du marché.
- b) la taxe vise à donner une valeur au bois sur pied mais son caractère incitatif est limité dans le cas du Niger. Une vision indifférenciée des opérateurs économiques peut amener à mettre en œuvre une taxation qui ne distingue pas « bons » et « mauvais joueurs » et n'ait pas l'effet incitatif attendu.
- c) la redistribution de la taxe vise à renforcer ce caractère incitatif en le liant à des enjeux de développement local. Mais l'impact de cet outil est lié au contexte de sa mise en œuvre : Ainsi au Niger, la redistribution de la taxe assortis de la création de droits pour les communautés villageoises peut aboutir à un comportement des paysans fondé sur des droits de tirage sur la rente forestière, qui incitent à augmenter la pression sur les ressources pour augmenter les recettes. De plus, comme le signale Karsenty, une redistribution générale, automatique, risque de ne pas provoquer d'évolution spontanée des pratiques contrairement à une redistribution négociée, plus à même de fixer le cadre d'un partage des responsabilité en matière de gestion forestière (Karsenty, 2000).

Partie III. Modèle stylisé de terrain et simulations

Le première section présentera l'outil de modélisation choisi, les SMA, pour représenter et simuler des agents, placés dans un environnement dynamique, en interaction au sein d'une filière économique. L'application sera exposée dans une seconde section. Les résultats analysés et discutés dans une dernière section.

31. Modèles de simulation multi-agents (SMA) et gestion des ressources

Les modèles multi-agents, issus des recherches en intelligence artificielle distribuée, sont utilisés comme un outil de modélisation des systèmes complexes (Arthur 89, Holland, et Miller, 1991, Epstein et Axtell, 1996). Dans cette perspective, leur usage se développe aussi en économie à partir des différents problèmes théoriques de la discipline et de leurs solutions⁵¹ : dynamique et équilibre, contrôle, structure économique du marché, stratégies des acteurs⁵² (Arthur et al. 1997, Kirman 1997).

Des travaux récents (Jager 2000, Rouchier *et al.* (a) 2000, Bousquet 1999, Rouchier 1999) effectuent une revue de l'utilisation des Systèmes Multi-Agents, pour construire des modèles dans le domaine de modélisation de la gestion des ressources. La présentation des systèmes et modèles multi-agents qui suit, emprunte à ces travaux très complets une partie de ses développements. Les modèles multi-agents sont des modélisations informatiques fondées sur la construction et l'organisation d'«agents» (ou programmes informatiques autonomes) pour résoudre un problème (Rouchier 1999): la résolution du problème est le fait de tâches « distribuées » au sein d'agents⁵³. Dans une première section, nous présenterons brièvement comment les modèles multi-agents aident à formaliser des règles de comportements d'agents placés dans un environnement commun et à représenter des interactions entre ces agents, qui forment le système à étudier (ou « target system », Doran 2000). Les SMA permettent de simuler des actions de ces différents agents construits dans une démarche expérimentale, et d'observer les propriétés du système (section 2).

⁵¹ « We can characterize them (agent-based models) as seeking emergent structures arising in interaction processes, in which the interacting entities anticipate the future through cognitive procedures that themselves involve interactions taking place in multilevel structures. And what counts as a solution in an agent-based model is currently under negotiation» (Arthur and al., 1997 : 6).

⁵² «By incorporating a consideration of how agents interact into our models, we not only make thme more realistic but we also enrich the types of agregate behavior that can occur » (Kirman 1997 : 524).

⁵³ Cette approche « interactionniste » les oppose aux systèmes centralisés ou systèmes-expert qui effectuent l'ensemble des opérations pour résoudre un problème (« approche cognitiviste »).

311. Construction d'un modèle SMA

Un système multi-agent peut être décrit par 4 éléments (Demazeau 1995) : des agents ayant des caractéristiques internes, un environnement dans lequel sont placés les agents, des interactions entre ces agents, une organisation de l'action de ces agents au sein du système.

A. Agents et environnement

Un agent est une entité dotée d'une autonomie, placée dans un environnement dynamique. Cette entité perçoit son environnement⁵⁴ et a la capacité d'agir sur cet environnement.

Une première caractéristique de la modélisation multi-agents, est qu'il n'existe pas de modèle formalisé de *comportement* d'un « agent »⁵⁵ : optimal ou social Les SMA ont comme première caractéristique de formaliser les objectifs motivant les comportements⁵⁶ des agents et non pas les comportements eux-mêmes, qui ne sont que le produit, toujours contingent, de ces objectifs dans un environnement et à un temps donnés. Ses choix d'action se font, sur la base de ses objectifs, soit en réponse à des stimuli, des règles qui le poussent à l'action, soit en fonction de l'information reçue des autres agents et des interactions avec eux, soit encore selon sa propre perception et sa capacité d'anticiper l'évolution de son environnement (Rouchier, 1999)⁵⁷.

⁵⁴ Cf. annexe 5 pour une définition des SMA et des agents. Dans la définition qu'il donne d'un agent, Ferber précise que l'agent a une perception limitée de son environnement et une représentation partielle de cet environnement voire aucune.

⁵⁵ Une thèse récente dans le domaine de la modélisation-agent, se réfère aux concepts théoriques en économie et psychologie pour tenter de donner une structure formelle à un agent, en partant de ses objectifs : L'agent décrit par Jager, le « consumat », peut avoir comme objectifs la satisfaction de plusieurs besoins et des préférences évolutives ou influencées par le contexte social de l'agent (Jager, 2000).

⁵⁶ Modèle perception – délibération - action.

⁵⁷ Ces trois manières de construire des agents recouvrent des techniques de modélisation différentes: Dans les modèles d'automates cellulaires, les agents ont règles limitées qui définissent leur action en fonction de leur état actuel. Sont étudiées les conditions pour le changement d'état des agents, conditions qui dépendent de leur état précédent et de l'état des autres agents. Ces modèles sont utilisés pour simuler les phénomènes de diffusion d'innovation (Weisbuch-Duchateau, celui cité par Ganon) Parmi les modèles qui, comme les modèles d'automates cellulaires, ne s'attachent pas au processus de décision des agents, il faut citer les modèles de réseaux neuronaux, qui s'inspirent des algorithmes génétiques pour modéliser l'adaptation des agents à leur environnement (Bousquet 1999). Dans les modèles de réseaux sociaux, les relations entre agents sont variables et susceptibles de changer en conséquence du comportement des autres agents. Les modèles de réseaux sociaux traitent de l'émergence de structures sociales et de stratégies rationnelles à partir des types d'interactions (Bousquet 1999). Le troisième type de modélisation s'intéresse à la cognition individuelle et sociale (Doran 1999). Or, autant en économie que dans d'autres sciences sociales, les programmes de recherche sur la cognition comme facteur d'explication des comportements se développent en réaction à l'hypothèse de rationalité individuelle, qui attribue à l'agent un comportement rationnel sans en expliciter le processus de délibération (Walliser, 2000), et à l'hypothèse de connaissance commune, simplement supposée (Arthur, 1997).

Dans le domaine des ressources renouvelables, usagers, groupes d'usagers, ressources, écosystème ou espace peuvent être considérées comme des agents (Bousquet, 1996). Plusieurs exemples de modèles illustrent les différents choix d'action présentés. Une contrainte du milieu (par exemple l'état et la nature de la ressource) ou la situation dans laquelle l'agent se trouve peuvent constituer des stimuli à l'action. Les interactions influent sur les choix d'action via la pression conjointe sur un milieu ou l'information dont un agent dispose sur les actions des autres ou les échanges (Barreteau, 1999, Rouchier et al., 2000b). La perception propre et la capacité d'anticiper apparaissent au travers des représentations, des raisonnements stratégiques des agents ou des perceptions collectives (Bousquet 1996, Rouchier *et al.*, 2000a).

B. Interactions

Dans les systèmes multi-agents, les interactions correspondent aux différentes formes de communications entre les programmes agents. Elles s'effectuent directement (par transmission d'information entre agents ou à travers l'appartenance à un groupe) ou indirectement, par exemple à travers l'environnement. Elles peuvent être locales (entre agents identifiés) ou globales (chaque agent ayant des interactions avec l'ensemble des autres agents).

Dans le cadre de la gestion des ressources, les interactions peuvent être des échanges de biens, d'information, de représentation, qui s'effectuent directement ou au travers un environnement commun aux agents (Bousquet 1996). Objectifs, informations, représentations sont affectés par les interactions avec les autres agents, ce qui rend les agents adaptatifs, c'est à dire capables donc de modifier leur stratégie de décision et leur comportement.

Avec la modélisation multi-agents, il est possible de considérer comme agents, des individus, un environnement, une ressource mais aussi des groupes, des institutions avec leurs règles de fonctionnement et leurs normes. Ceci permet d'envisager des agents mus par des règles qui évoluent par l'interaction entre les individus, comme entre les groupes et les individus, les groupes et leur environnement (cf. Bousquet *et al.*, 1996).

C. Organisation

Dernière composante d'un système multi-agent, l'organisation de ce système représente comment les programmes-agents travaillent en commun et sont coordonnés entre eux (Rouchier). Rouchier distingue deux types d'organisation : une organisation implicite où chaque agent est autonome, a un objectif propre et n'a pas d'information relative à un objectif collectif. C'est l'option retenue par la

plupart des modèles multi-agents qui étudient ainsi « l'auto-organisation », l'ordre spontané pour reprendre la métaphore de Lesourne. L'organisation peut être aussi explicite selon plusieurs modalités : un agent a pour tâche d'organiser les autres, ou encore chaque agent est doté de la capacité à décider si la coordination est opportune (fonction d'utilité), ou chaque agent est lié aux autres dans la réalisation de la tâche commune. Notre modélisation de la filière économique correspond à une organisation explicite du modèle SMA que nous avons construit.

Les SMA consistent donc à construire et placer des agents avec des objectifs donnés dans un environnement et à un instant donnés, puis de laisser librement évoluer l'ensemble en fonction des comportements issus des objectifs donnés aux agents et en fonction de leurs interactions entre eux et avec leur environnement.

312. Observation du système et simulation.

La seconde caractéristique des modélisations multi-agents est d'évaluer les implications collectives des objectifs d'agents autonomes, sans avoir à effectuer d'hypothèses sur les évolutions de la collectivité représentée: "*la modélisation multi-agents s'intéresse à l'émergence de comportements globaux, à partir des interactions locales (communications, influences, négociations)*" (Bousquet, 1995). L'idée de base est donc celle d'une émergence de processus à un niveau macro à partir d'interactions entre un grand nombre d'agents individuels, ces processus émergents modifiant ensuite les règles de décisions au niveau individuel.

Il est nécessaire pour le modélisateur de se doter d'instruments d'observation du comportement collectif résultant (dominance d'une stratégie, survie d'un système, compatibilité entre objectifs des agents...) (Rouchier, 1999). Observer les propriétés du système signifie observer les conditions d'apparition de phénomènes émergents, issus de ces actions et non présents dans le système au départ (Gilbert 1998). En laissant interagir les différents agents dans différents scénarios simulés, on peut alors voir émerger un certain nombre de comportements et de structures. On teste alors par simulation, en l'importance des différents facteurs (choix, interaction, organisation) dans l'apparition d'une situation collective.

Dans le domaine des ressources renouvelables, la simulation permet de suivre l'évolution des comportements individuels et collectifs, dans des scénarios portant sur l'évolution possible des ressources, des usages (actions individuelles des agents) et des organisations collectives contrôlant ces usages, puisque seuls les objectifs des agents sont, relativement, fixés au départ. Il s'agit d'expliquer comment des processus existants à une échelle micro (par exemple, des règles simples de décision d'un agent ou des dynamiques de comportement résultant d'interactions entre agents) évoluent de

façon dynamique et affectent les résultats collectifs⁵⁸. On observe deux types de modèles de simulation dans ce domaine (Jager, 2000): des simulations de règle de décision, des simulations de règles d'interaction.

a) Des simulations de règles de décision

Dans ces modèles de simulations, c'est le point de vue cognitif qui est privilégié. On simule ainsi règles de décision des agents, du moins cognitif (des règles parfaitement définies d'agents automates) au plus cognitif (des règles issues d'apprentissage des agents)⁵⁹.

b) des simulations d'interactions entre agents au comportement hétérogène et leur environnement

Dans ces modèles de simulations, c'est le point de vue des interactions et de l'organisation des agents qui est privilégié. La démarche permet de tester les effets sur l'évolution des comportements individuels et collectifs (qui ne sont pas figés dans la modélisation) :

- de modification du contexte (croissance du nombre d'agents, chocs sur les ressources),
- d'innovations sociales (règles, normes communes, modes d'organisation des échanges, formes d'appropriation des ressources,...)
- et techniques (parcellisation de l'espace, pérennisation ou protection d'une ressource, amélioration de la production,...)

Le plus souvent, ils s'appuient sur des représentations stylisées du monde réel⁶⁰, moins pour prédire que pour expliquer et aider à la décision (cf. Bousquet, 1999 pour l'usage des modèles en aide à la décision et à la négociation).

Le modèle élaboré pour le présent travail se situe dans cette seconde perspective.

⁵⁸ Les modèles de théorie des jeux simulent aussi des comportements d'agents en interaction locale dans ce même contexte de ressource « partagée ». Ils analysent et testent des stratégies individuelles définies visant à optimiser les gains individuels attendus des interactions. Les simulations portent sur différentes situations d'interdépendance quant aux résultats connus des comportements.

⁵⁹ On peut y avoir aussi un parallèle avec les jeux expérimentaux qui testent les processus de décision d'acteurs réels dans différentes configurations (choix séquentiel, simultanés...).

⁶⁰ Cf. en annexe 6, la présentation d'un type de modèles de simulation (Sugarscape, Epstein & Axtell, 1996) représentant des dynamiques d'exploitation ou de surexploitation de ressources.

32. Une modélisation de la filière bois-énergie.

Nous avons réalisé un modèle stylisé de la filière d'exploitation du bois énergie au Niger. Cette construction s'est faite en trois étapes :

- Représenter les « agents » ayant un rôle dans le fonctionnement de la filière et modéliser la mise en place d'instruments de gestion pour tester les hypothèses quant à leur efficacité pour résoudre entre tension viabilité de le ressource et viabilité de la filière (321. Mise en œuvre)
- Simuler le fonctionnement de la filière avec et sans instruments de gestion et construire des indicateurs permettent de suivre les résultats des simulations. (322. Simulations)

Nous avons utilisé pour cela la plate-forme de modélisation CORMAS (Common-Pool Resources and Multi-Agent Systems) élaborée au CIRAD. Elle fournit une architecture de base pour la modélisation d'agents.

321. Mise en œuvre

Le système est modélisé en représentant les divers objets ou « agents » qui le composent : un agent « spatial », support d'un écosystème forestier composé de deux ressources, le bois mort et le bois vert ; des agents « sociaux » sont construits, qui représentent la dynamique d'exploitation, d'échange et de consommation du bois : plusieurs collecteurs, plusieurs commerçants-transporteurs , un marché (agrégat de tous les consommateurs sous forme d'une fonction de demande). Ces agents sont modélisés comme des agents économiquement rationnels. Les hypothèses du modèles sont exposé dans un premier paragraphe.

Les interactions entre agents relèvent des deux catégories directes et indirectes : les interactions directes rendent compte d'échanges bilatéraux de bois entre acteurs. Les interactions indirectes se font par l'intermédiaire de la ressource (exploitation d'une ressource commune). Il n'y a pas de communication entre agents. Un second paragraphe présentera les agents.

Les scénarios simulés mettent en œuvre des règles de gestion dans la ressource imposées par une autorité extérieure: un zonage de l'espace assorti de quotas d'exploitation globaux par zone pour les paysans-collecteurs ; une taxe payée par les transporteur au kg de bois acheté. Deux niveaux de taxe sont testés. Les simulations sont effectuées sur 30 pas de temps, avec un pas de temps annuel.

A. Hypothèses du modèle

1) Les agents de la filière

- les agents « sociaux » sont économiquement rationnels. Le modèle de comportement retenu pour ces différents agents de la filière est basé sur la théorie néoclassique de la décision : leur décision qui est aussi leur action fait référence à un besoin, une fonction d'utilité ou de profit à optimiser et un résultat attendu du processus en terme de quantité⁶¹. Le niveau de consommation de la ressource détermine le niveau de satisfaction des besoins. Néanmoins, dans notre modèle, les préférences ne sont pas fixées pour tous. Pour les collecteurs, une caractéristique personnelle (leur pluri-activité) influence utilité de l'action;
- l'offre de chaque collecteur comme l'offre de chaque transporteur est réduite par rapport à l'offre globale : ainsi individuellement, ils n'ont pas de poids déterminant sur l'offre de la filière :
- les mêmes agents « sociaux » de la filière sont présents, en nombre constant, au long des simulations : nous ne faisons pas l'hypothèse d'une libre entrée dans le secteur.
- Les agents « sociaux » n'ont pas d'information sur l'état total de la ressource ; transporteurs et collecteurs n'ont pas conscience de la pression exercée individuellement sur la ressource.

2) Les variables économiques

- Tous les agents sociaux sont preneurs de prix.
- La demande est élastique. Il n'y pas de rationnement : le marché absorbe toute l'offre.
- Les actions des agents sociaux ont un coût. Il est fonction de la distance de collecte pour le collecteur. Il est fonction de des facteurs de production pour les commerçants-transporteurs⁶² et ne comporte pas de coûts fixes.

3) Règles

- Les agents respectent les accords d'échange bilatéraux conclus. Ils suivent les règles imposées par les instruments de gestion : nous n'avons pas modélisé de comportement de passager-clandestin dans le fonctionnement de la régulation.

⁶¹ Le modèle Simdelta de Bousquet 1994, qui simule une pêcherie dans le delta central du Niger, utilise un modèle de processus de décision différent. Il comporte 4 phases : 1) building (repérage des activités possibles dans l'environnement), 2) perception (confrontation d'information sur les activités potentielles. Information quantitative - espérance des prises selon expérience passée ou selon point de vue de l'agent- ou qualitative - qualification des activités pour l'acteur : favorable ou non, possible ou non...), 3) décision (consiste à sélectionner une action selon le type de ménage ou l'ethnie); 4) action (mise en œuvre de l'action choisie).

⁶² Le prix des facteurs de production est supposé constant.

B. Agents, Attributs et Méthodes

Chaque agent est posséder des attributs (ou caractéristiques propres de l'agent) et des méthodes (règles d'action des agents). Les principaux attributs et méthodes des agents sont présentés ci dessous.

La règle de décision est spécifiée pour chaque agent social: Les actions de ces agents à chaque stade de la filière dépendent de leurs caractéristiques propres, de l'état de l'écosystème et du niveau de prix de la ressource à ce stade. Certains attributs et certains paramètres des méthodes se voient attribuer une valeur initiale pour démarrer les simulations : ces valeurs ont été calibrées à partir des données disponibles sur le terrain Niger.

Un Agent « espace »

L'espace est modélisé comme un support d'un écosystème forestier composé de deux ressources, le bois mort et le bois vert, dont la dynamique écologique est représentée (croissance, mortalité). Lors des simulations, l'écosystème évolue en fonction de sa dynamique écologique et des caractéristiques de l'exploitation.

Attributs de la cellule:

- sa surface (10 ha) et sa zone (repérage utilisé lors des scénarios avec instruments);
- la quantité de bois vert et la quantité de bois mort qui indiquent son niveau de végétation à un instant t ;
- le bois vert maximum et minimum sur un ha, le renouvellement maximum du bois vert, le taux de croissance du bois vert, le taux de mortalité qui sont les paramètres de la fonction de croissance du bois vert.
- Le bois mort maximum sur une cellule, qui limite la quantité de bois mort disponible sur une surface, pour illustrer une dégénérescence.

Méthodes

- Le processus biologique de croissance végétale est représenté suivant une fonction dynamique non linéaire et traduit dans une méthode de croissance et mortalité du bois vivant.
- La croissance de la disponibilité de bois mort est déduite de celle du bois vert, et limitée par l'attribut bois mort maximum.

Calibrage

L'espace est représenté par des 400 cellules de 10 hectares. Cette superficie correspond à la dimension d'une zone forestière qui peut être mise sous le contrôle d'un village dans le cadre de la politique mise en œuvre au Niger. A l'initialisation du modèle, ces ressources bois mort et bois vert sont distribuées de façon non homogène dans l'espace afin de retracer la configuration des brousses mixtes. Ces quantités initiales correspondent à la moitié de la capacité avec un aléa de +/-50% selon les cellules.

La proportion entre bois vert et bois mort comme les paramètres de croissance, de mortalité, de charge maximale par ha sont calibrés à partir des données biologiques estimées au Niger⁶³.

Un agent Marché qui regroupe les consommateurs finaux du bois.

La règle de décision est représentée par une fonction d'utilité qui fixe les quantités demandées par les consommateurs à un certain prix. Le consommateur ne distingue pas bois mort et bois vert. Les valeurs attribuées sont aussi basées sur la bibliographie relative au Niger.

Attributs

- un prix de réserve, c'est à dire un prix maximum d'achat du bois fonction du prix des substituts (fixé à 25000 FCFA/kg). Il ne varie pas au long de la simulation.
- une quantité maximum absorbable par le marché qui sert avec le prix de réserve à construire la fonction de demande des consommateurs (fixé à 10000 tonnes par le modélisateur cf. calibrage).
- un prix et une demande du marché au temps t , qui évolue avec la simulation.

Méthodes

- Envoie le prix du marché au temps t aux transporteurs au démarrage du pas de temps. Cela suppose que l'agent marché connaît les transporteurs, donc dispose d'une méthode d'accès aux transporteurs.
- Consomme et révisé le prix d'achat aux transporteurs en fonction des quantités offertes à la fin du pas de temps (rapport offre/demande) : La demande est estimée par l'agent marché au début du pas de temps au prix donné à l'aide de la fonction de demande. Cette demande initiale est comparée à l'offre totale des transporteurs. Si la quantité offerte est supérieure de 20% à la demande, le prix du marché baisse de 5%, et inversement.

Calibrage

Les données bibliographiques indiquent une consommation de bois énergie de 325 Kg/an/personne (Indicateur Bois-Energie, 1996). Nous avons utilisé ces données pour estimer la consommation qui pouvait être compatible avec la dimension de l'espace forestier construit et la biomasse exploitable par pas de temps (c'est à dire d'un diamètre supérieur à 4 cm). Cette biomasse est en moyenne de 5 tonnes/ha pour les brousses diffuses (cf. d'Herbes *et al.* 1997 : 127), soit 20 000 tonnes pour le total des 400 cellules de notre espace. Nous avons considéré que sur un pas de temps annuel, la quantité

⁶³ La fonction de croissance est une fonction logistique qui rend dépendante la croissance de la ressource de la densité d'arbres. Cette fonction a été calibrée à partir de données issues de sources bibliographiques et des résultats d'une thèse en écologie en cours sur les écosystèmes contractés menée par un chercheur nigérien (M. Ichaou) : Bois vert maximum par ha : 18 tonnes ; Renouvellement maximum de bois vert par ha : 0,5 tonne/ha et par an ; Taux de mortalité : 0,02. Quantité de bois vert maximum par ha 20 fois plus importante que la quantité de bois vert. Ce rapport est utilisé pour l'initialisation, qui tient compte également d'un aléa dans la distribution de la ressource dans l'espace.

maximum absorbable par le marché peut atteindre la moitié de cette biomasse soit 10 000 tonnes. Cette estimation correspond à 25 tonnes consommées par cellule de 10 ha, soit environ la consommation de 75 consommateurs : cette valeur est compatible avec l'estimation de 1 ha pour 6 consommateurs. Notre agent marché représente donc environ 31000 consommateurs.

Les transporteurs- commerçants (au nombre de 3)

L'activité de transport commerce fonctionne selon une hypothèse de rendements décroissants. Le transporteur ne différencie pas bois mort et bois vert.

Règle de décision : Chaque commerçant-transporteur décide des quantités à demander à l'ensemble des collecteurs en comparant sa marge unitaire (prix du marché- prix proposé au collecteur) à ses coûts marginaux de transport. Chaque transporteur dispose d'une fonction de production propre qui dépend donc de ses coûts et du prix qu'il propose au collecteur, le prix du marché étant identique pour tous les transporteurs.

Attributs de chaque transporteur :

- une capacité de transport du bois, choisie aléatoirement entre 70% et 100% d'une capacité maximum de transport, fonction de la dimension maximale du marché et du nombre de transporteurs. Dans notre cas, la capacité individuelle maximum de transport s'élève à 2000 tonnes.
- un coût de production marginal minimum et maximum différent (fixés respectivement à 5000 FCFA et 20 000 FCFA/kg, cf. calibrage ci-dessous)
- un prix proposé aux collecteurs différent selon les transporteurs. Ce prix est utilisé dans l'organisation des interactions entre transporteurs et collecteurs, le transporteur proposant le plus élevé ayant la priorité pour contacter l'ensemble des collecteurs.
- une quantité achetée aux différents collecteurs à chaque pas de temps.

Méthodes :

- calcule les quantités voulues : chaque transporteur compare sa fonction de coût marginal à la marge unitaire évaluée au prix du marché. Au premier pas de temps, le prix proposé au collecteur est fixé par le modélisateur aléatoirement dans une fourchette.
- Effectue un tri au hasard de la liste de tous les collecteurs pour déterminer l'ordre dans lequel il va demander les quantités voulues et les décrémente en fonction des quantités achetées. Cette méthode active une méthode de ramassage du bois chez les collecteurs par lot de 200 tonnes.
- Révise en fin de pas de temps, le prix qu'il propose aux collecteurs en fonction de sa satisfaction : Si les quantités obtenues correspondent à plus de 90% des quantités voulues, le prix est réduit de 20% et augmenté de 20% en cas contraire.

Calibrage

Le calibrage des données de coût et de capacité des transporteurs est issu de données bibliographiques (Ribardi re, 1998 et enquêtes transport du projet Bois-Energie⁶⁴). Le prix au collecteur est fixé aléatoirement par le modélisateur au premier pas de temps entre 1500 et 2500 FCFA/kg, ce qui est cohérent avec le niveau de prix observé dans la situation sans outils sur le terrain.

Les paysans- collecteurs (au nombre de 10)

Les paysans-collecteurs sont pluriactifs et la collecte du bois leur apporte des revenus monétaires complémentaires.

Règle de décision : Ils décident d'exploiter le bois ou pas, dans un rayon plus ou moins large en fonction du prix proposé par les collecteurs avec lesquels ils sont en contact, de leur coût de déplacement pour la collecte et d'une valeur propre à chaque paysan qui définit leur seuil de réserve, qui est un coût d'opportunité de l'activité collecte.

Attributs

- un coût de collecte unitaire C_u de 300FCFA à +/- 20% selon les collecteurs. Le coût de collecte total comporte une partie fixe et une partie fonction de la distance de collecte d selon la formule $C = C_u (1+d)$
- un seuil de réserve qui dépend de la nature de leur activité principale⁶⁵ : il est fixé à 1000 FCA +/- 20% selon les collecteurs.
- une capacité maximum de collecte sur un pas de temps fixée à 600 tonnes +/-20% selon les collecteurs
- une quantité collectée sur un pas de temps
- une distance de collecte calculée par le collecteur en fonction des attributs précédents et du prix proposé par le collecteur.

Méthodes

Pendant un pas de temps, chaque collecteur active les méthodes suivantes :

- Calcule un rayon de collecte selon le prix proposé par le transporteur. Tant que la différence prix-coût de collecte est supérieure au seuil de réserve, le collecteur augmente sa distance de collecte, dans une limite de perception de 6 cellules autour de la cellule où il est positionné et où il retourne en fin de pas de temps. Si la différence est inférieure, le collecteur n'exploite pas.
- Se déplace

⁶⁴ Ribardi re estime ainsi qu'un camion transporte 11 tonnes en moyenne et effectue 6 voyages par mois pendant les 6 mois de saison sèche où les déplacements sont possibles : ce qui correspond à environ 400 tonnes transportées par an par camion.

⁶⁵ Afin de tenir compte de l'hétérogénéité des paysans collecteurs qui selon leur activité (agriculture, agropastoralisme) et les rémunérations associées à ces activités ont un coût d'opportunité du temps diff rent.

- cherche du bois selon les quantités demandées par chaque transporteur par lot de 200 tonnes dans les cellules choisies par la méthode précédente. Il ramasse d'abord du bois mort puis du bois vert. Il est limité par sa capacité de collecte annuelle et le volume de bois disponible sur la cellule. A la fin de cette méthode, les ressources de la cellule exploitée sont mises à jour.
- Fournit ce bois au collecteur qui l'a contacté, ce qui remet à jour les quantités voulues par le collecteur.

Calibrage

Nous disposons de quantités moyennes annuelles collectées par les paysans pour calibrer le modèle. Mais nous ne disposons pas de données concernant les autres données paramètres économiques (seuil de réserve, coût de collecte), pour lesquels nous avons procédé à de nombreuses simulations tests.

C. Déroulement d'une simulation

Le modèle organise, à chaque pas de temps, les différentes actions des agents décrits ci dessus, en deux phases :

- a) Une phase de transmission de l'information prix qui active les règles d'action des agents hétérogènes, en fonction de leurs caractéristiques propres:
 - les ressources positionnées sur l'espace suivent leur dynamique de croissance à partir d'une répartition aléatoire initiale, mise en place par le modélisateur.
 - Le marché fournit détermine sa demande à un prix donné. Le prix initial est fourni par le modélisateur est de 20000 FCFA/kg. Ce prix est transmis aux commerçants transporteurs.
 - En fonction de ce prix, les commerçants transporteurs calculent les quantités voulues et le prix proposé aux collecteurs. Un prix initial est fourni par le modélisateur.
 - Le collecteur décide de son activité ensuite en fonction de ce prix. La quantité collectée est transmise au transporteurs et la ressource mise à jour. Lui seul fait intervenir dans sa décision, la vision de l'espace où il opère.
- b) Un retour de l'information quantité du collecteur au commerçant, qui active les confrontations quantités offertes et demandées à chaque stade de la filière et les processus de révision des prix pour le pas de temps suivant. Les agents n'ont pas de vision des autres ni de vision globale de la filière.

Afin de prendre en compte la contrainte spatiale de distribution de la ressource, deux configurations initiales de la position des paysans-collecteurs dans l'espace sont simulées dans un scénario sans instrument de gestion (scénario de référence) : dans l'une (InitGroupes), les collecteurs sont tous regroupés au centre de la grille spatiale ; dans l'autre (InitRepartis) ils occupent toute la grille.

Pour les simulations des scénarios avec instruments de gestion, la caractéristique groupée ou diffuse de l'exploitation est conservée. La présentation synthétique du fonctionnement du modèle est présentée ci-contre.

- Figure 2: Schéma UML du modèle.

D. L'observation

Nous observons trois types de résultats :

1. l'évolution de la ressource en bois dans l'espace simulé (bois mort et bois vert) sur les 30 pas de temps.
2. Le bilan quantitatif de la filière : quantités demandées par le consommateur, quantité demandée par les transporteur, quantité collectée et vendue aux transporteurs (offre totale).
3. L'évolution des prix et des rémunérations des agents : prix au consommateur, prix payé au collecteur, marge transporteur. Ces évolutions sont comparées à la situation de base sans instruments. Ce dernier critère est retenu pour discuter les questions d'allocation de la ressource et est rapproché du critère d'impacts des instruments sur la ressource.

322. Les différentes simulations : 3 scénarios

A. Scénario 1 : modèle de base

Il représente les interactions locales entre acteurs autonomes d'une filière d'exploitation d'une ressource commune. Les comportements sont spécifiés sur une base individuelle et leurs résultats agrégés modifient la ressource donc les comportement en retour. Deux simulations sont faites selon la configuration spatiale des collecteurs (simulations 1 et 1bis). Les résultats agrégés sont analysés.

L'hypothèse à tester est la suivante : dans un contexte sans instruments de gestion, la demande urbaine fournit peu de revenu en milieu rural et la ressource est exploitée très largement.

B. Scénario 2 : zonage et quotas

L'espace est divisé en trois zones. Des quotas d'exploitation globaux différents sont mis en place pour chaque zone et pour chaque type de ressource (cf. tableau 6). Ils concernent l'activité des collecteurs et modifient donc les interactions entre les collecteurs et leur environnement (représenté par l'agent espace et ses attributs ressources). Les agents respectent le règle collective quota et les zones. Les quotas ne sont pas individualisés. Durant le simulation, ils sont diminués à chaque prélèvement. Nous avons effectué deux séries de simulations 2 et 2 bis selon la configuration de la collecte, groupée ou répartie. Nous n'avons pas simulé les règles d'interdiction sur la zone incontrôlée dans cette première version du modèle.

Tableau 6 : Les quotas du modèle

ZONE	Règles d'exploitation	Quota Bois Mort	Quota Bois Vert
Incontrôlée	Interdiction de collecte de bois vivant	Nil	Nil
Orientée	Interdiction de collecte de bois vivant	1/6 Bois Mort maximum	0
Contrôlée	Pas d'interdiction	1/6 Bois Mort maximum	1/6 Renouvellement Max

C. Scénarios 3 et 4: Fiscalité

Deux montants sont fixés pour la taxe payée par les transporteurs et fonction des quantités achetées : 5000F CFA/kg et 10000F CFA/kg . Nous n'avons pas introduit la taxe différentielle en fonction de l'espace.

La taxe va modifier les interactions entre collecteurs et transporteurs. Elle est rajoutée au prix payé par transporteurs à villageois, mais pas entièrement répercutée sur les consommateurs. 4 séries de simulations sont effectuées : les simulations 3 et 3 bis avec une taxe à 5000 FCFA/ kg ; les simulations 4 et 4 bis avec une taxe à 10 000 FCFA/kg

Un 5^{ème} scénario portant sur les marchés ruraux n'a pu être construit et testé pendant le temps du DEA. La modélisation consistait à remplacer les échanges bilatéraux entre collecteurs et transporteurs à un prix fixé par le transporteur par un marché rural sur lequel est établi un prix issu de la confrontation de la collecte globale et des quantités voulues par les transporteurs. Ce scénario consistait à modifier l'organisation des échanges au sein du modèle.

33. Les résultats

Nous avons procédé à deux types de tests du modèle afin d'évaluer la sensibilité des résultats aux paramètres aléatoires du modèle et la sensibilité à la valeur de certains paramètres (331. Tests du modèle). Puis, nous présenterons les résultats des 3 scénarios construits et testés : un scénario de base sans outils , un scénario avec un zonage de l'espace et quota, un scénario avec taxe, deux niveaux de taxe ayant été testés (332. Résultats des simulations).

Les simulations sont présentées sur 30 pas de temps. Après plusieurs essais à 50 pas de temps, nous avons constaté qu'au bout de 30 pas de temps, les résultats étaient stabilisés. De plus cette durée est compatible avec l'observation de dynamiques forestières. En revanche, les résultats présentés ne sont pas actualisés, ce qui peut poser problème au vu de la période choisie pour la simulation, qui correspond à du long terme pour les économistes.

331. Tests du modèle sur le scénario de base

A. Test de sensibilité aux paramètres aléatoires

Le même modèle est lancée 10 fois sur 30 pas de temps. Nous observons les différences de résultats dues aux paramètres aléatoires du modèle : pour chacune des 10 simulations, la situation initiale est hétérogène du fait des caractéristiques des acteurs et du milieu.

Les paramètres aléatoires testés sont le suivants :

- Pour les transporteurs : la capacité individuelle de transport (+/- 30%), le prix payé aux collecteurs au départ de la simulation (+/-25%), les coûts marginaux minimum et maximum (+/- 20%). Au cours du modèle, les transporteurs passent chez les collecteurs dans un ordre aléatoire, pour demander du bois.
- Pour les collecteurs : le coût unitaire de déplacement (+/- 20%) et le seuil de réserve (+/-20%). La position des collecteurs est aussi aléatoire dans la version « Groupés » : pour chaque simulation, la position des collecteurs sur la grille est différente.
- Pour la ressource, au départ de la simulation, la valeur des quantités de bois mort et de bois vivant dans chaque cellule sont aléatoires (+/-50%).

Nous avons retenu deux indicateurs de sensibilité : l'écart type en pourcentage de la valeur moyenne (CV) calculé sur les 10 simulations ; la moyenne des résultats sur les 10 derniers pas de temps.

A1. Pour le scénario « état initial groupé/ Modèle de base » : simulation 1

Indicateur de sensibilité n°1

Tableau 7 : Scénario de base-Simulation 1.Indicateur 1 : Rapports écart-type / moyenne des résultats (CV)

	Total Bois Mort	Total Bois Vivant	Prix Consom- mateur	Prix Collecteur	Demande Conso.	Quantité voulue par les transporteurs	Production totale
Au début	6%	4%	0%	8%	0%	10%	12%
A mi-simulation	56%	21%	0%	30%	5%	14%	5%
A la fin	56%	23%	0%	7%	5%	30%	5%

On observe une très forte variabilité des résultats concernant la ressource mais une faible variabilité des prix en fin de simulation. Le prix et la demande du marché ne présentent aucune variabilité au début des 10 simulations car ils sont fixés de manière identique à l'initialisation du modèle.

Nous faisons l'hypothèse que, dans le scénario groupé, le modèle est sensible à la position aléatoire des collecteurs sur la grille spatiale (variabilité de la ressource). Un test supplémentaire va consister à supprimer le placement aléatoire des acteurs pour pouvoir comparer le comportement du modèle (cf. tableau X).

Tableau 8 : Scénario de base- Simulation1 sans aléatoire. Indicateur 1 : CV des résultats.

	Total Bois Mort	Total Bois Vivant	Prix Conso.	Prix Collecteur	Demande Consom.	Quantité voulue par les transporteurs	Production totale
Au début	5%	3%	0%	6%	0%	12%	11%
A mi-simulation	0%	1%	0%	28%	0%	11%	0%
A la fin	0%	0%	1%	7%	12%	29%	12%

La variabilité observée sur la ressource est réduite. On peut donc en conclure que les résultats du modèle et notamment l'état de la ressource dépendent fortement de la localisation des collecteurs, alors qu'on n'observe pas, pour les variables prix et quantités, de changements sensibles à l'aléa de la position des acteurs.

Par la suite, la configuration initiale des collecteurs groupée sans alea sera conservée pour chaque simulation. Ainsi, les différences entre simulations pourront être analysées comme dues aux instruments économiques retenus pour chaque scénario ou aux paramètres testés plutôt qu'à la localisation des collecteurs.

Indicateur de sensibilité n°2.

Dans la mesure où les simulations montrent souvent des équilibres ou des oscillations autour d'équilibres à partir du 20^{ème} pas de temps, nous avons observé comment variait la moyenne des résultats sur les derniers pas de temps (20 à 30). Nous voyons que la variabilité est faible entre simulations du même scénario (voir tableau suivant). Nous caractériserons les états finaux de nos simulations par cet indicateur moyen.

Tableau 9 : Scénario de base- Simulation 1. Indicateur 2 : Moyenne des résultats des 20 derniers pas de temps.

	Total Bois Mort	Total Bois Vivant	Prix Conso.	Prix Collecteur	Demande Consom.	Quantité voulue par transporteurs	Production totale
Moyenne pas de temps 20 à 30	0%	0%	0%	3%	1%	7%	0%

A2. Pour le scénario « état initial réparti/ modèle de base »

Tableau 10. Scénario de base- Simulation 1bis. Indicateurs 1 et 2 : CV et Moyenne.

	Total Bois Mort	Total Bois Vivant	Prix Conso.	Prix Collecteur	Demande Consom.	Quantité voulue par transporteurs	Production totale
Au début	12%	4%	0%	7%	0%	8%	8%
A mi-simulation	0%	0%	2%	20%	2%	6%	3%
A la fin	0%	0%	1%	7%	1%	18%	0%
Moyenne pas de temps 20 à 30	0%	0%	0%	3%	0%	9%	0%

Dans les deux cas, on observe que les résultats relatifs aux ressources ne sont pas sensibles aux paramètres aléatoires. Pour obtenir un indicateur de l'évolution de la ressource, il est donc inutile d'effectuer un grand nombre de simulations. Par contre, les prix et les quantités sont plus sensibles (à l'exception de ceux à la consommation). Pour comparer les caractéristiques économiques de la filière sur les différents scénarios, nous utiliserons plusieurs simulations répétées.

B. Test de la sensibilité aux différents paramètres

Nous avons testé la sensibilité du modèle aux différents paramètres suivants, « toutes choses égales par ailleurs ». Pour chaque valeur du paramètre testé, nous avons lancé 10 simulations et comparé la dispersion des résultats :

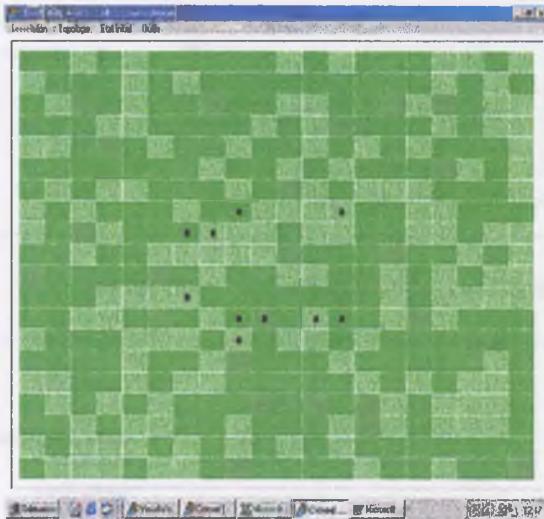
- La demande initiale sur le marché modifiée à + ou - 50% ;
- La quantité de bois vert à laisser sur l'espace par le collecteur : la variable « BoisDisponible » est fixée à 18/6 ou 18/10, 18 tonnes étant la quantité de bois maximum à l'hectare.
- Le coût unitaire de déplacement du collecteur, en gardant le même seuil de réserve à 1000: nous l'avons fixé à 100 puis 300 et 500.
- La réévaluation du prix par le transporteur de + ou - 20% a été successivement modifiée à +10%/-20% et +10%/-10%.

Les résultats du modèle montrent une robustesse par rapport à la variation de ces paramètres.

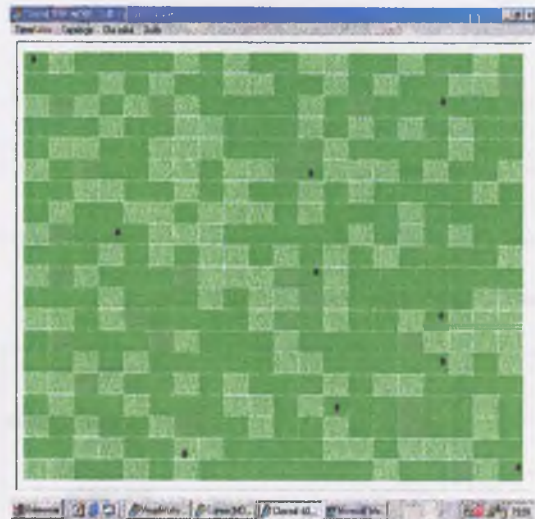
332. Les résultats de simulation

La grille spatiale et les deux configurations d'exploitation sont présentées ci dessous : les collecteurs (points noirs) sont positionnés sur des cellules. A l'écran, chaque cellule indique selon l'intensité du vert la quantité de bois disponible. Un second point de vue, défini comme le premier par le modélisateur, permet d'identifier les quantités de bois mort sur les mêmes cellules.

Configuration groupée



Configuration répartie

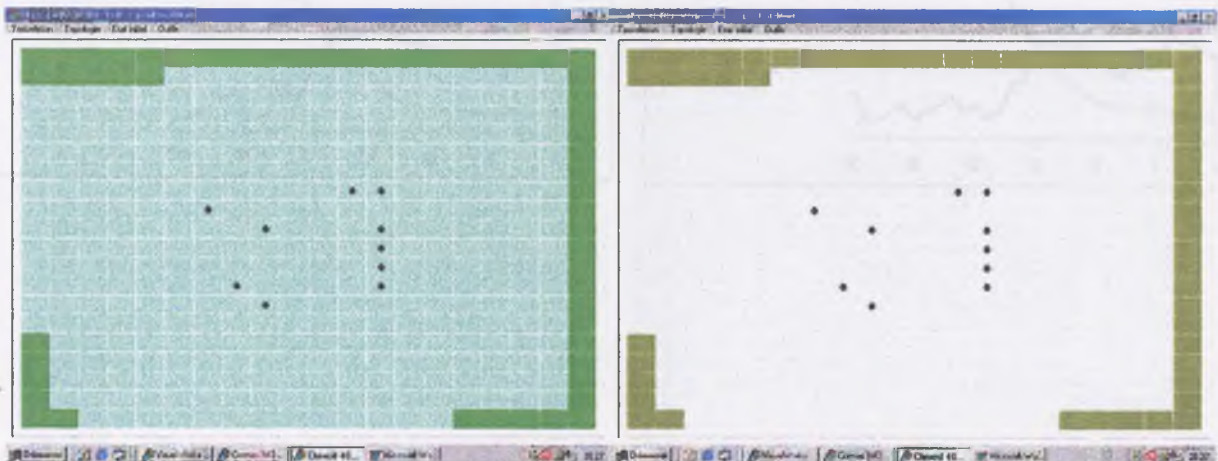


Les simulations sont réalisées sur 30 pas de temps. Pour chaque scénario, nous lançons plusieurs simulations pour observer une éventuelle variabilité.

A. Scénario de base – Sans Instruments

Simulation 1 : collecteurs groupés.

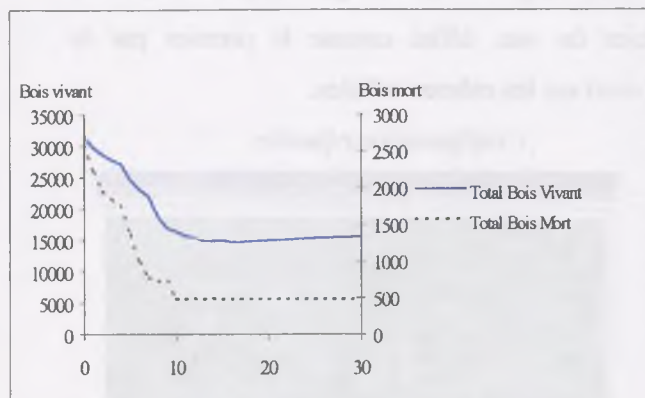
Après 30 pas de temps, il reste des zones où le bois vert est encore abondant, ce sont les zones éloignées du centre de la grille (cf. ci-dessous : bois vert et bois mort).



Scénario de base – Simulations 1 et 1 bis

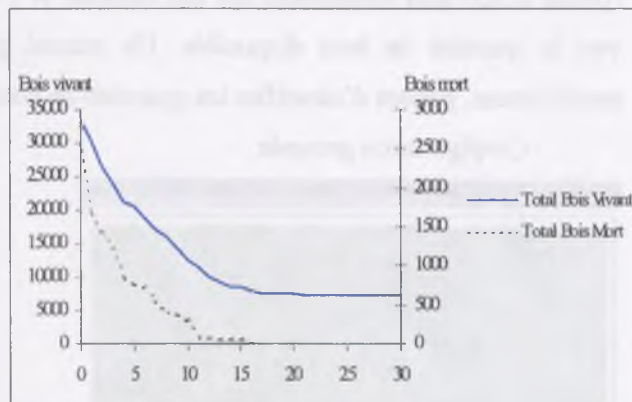
Simulation 1 – Modèle de base – Groupés
Figures 3,4,5

Simulation 1 – Evolution des ressources en bois

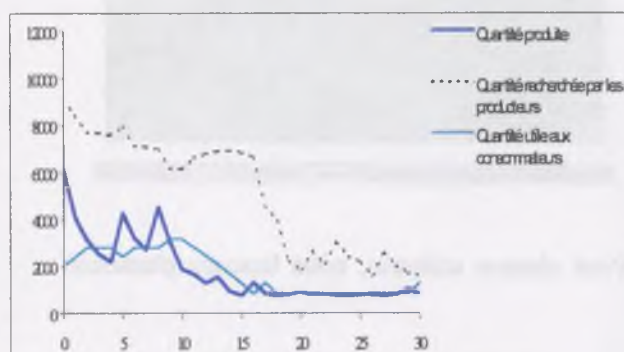


Simulation 1Bis – Modèle de base – Répartis
Figures 6,7,8

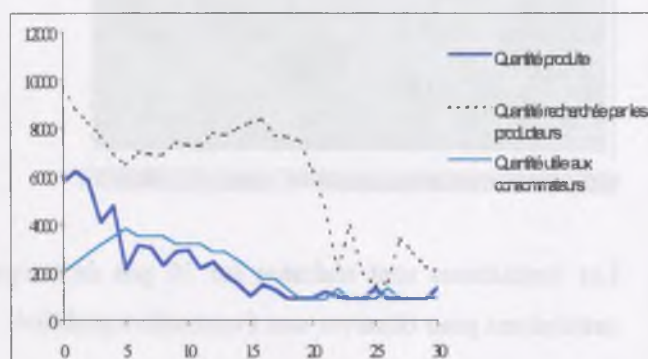
Simulation 1 bis – Evolution des ressources en bois



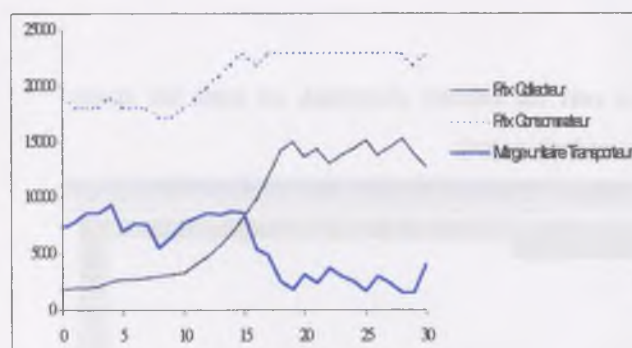
Simulation 1- Quantités de bois dans la filière



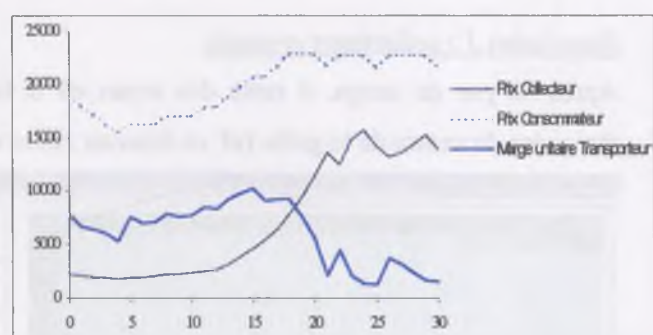
Simulation 1 bis – Quantités de bois dans la filière



Simulation 1- Prix et marges selon les stades de la filière



Simulation 1Bis – Prix et marges



Les résultats sont présentés ci contre. Les quantités sont en tonnes, les prix et marges en FCFA/kg :

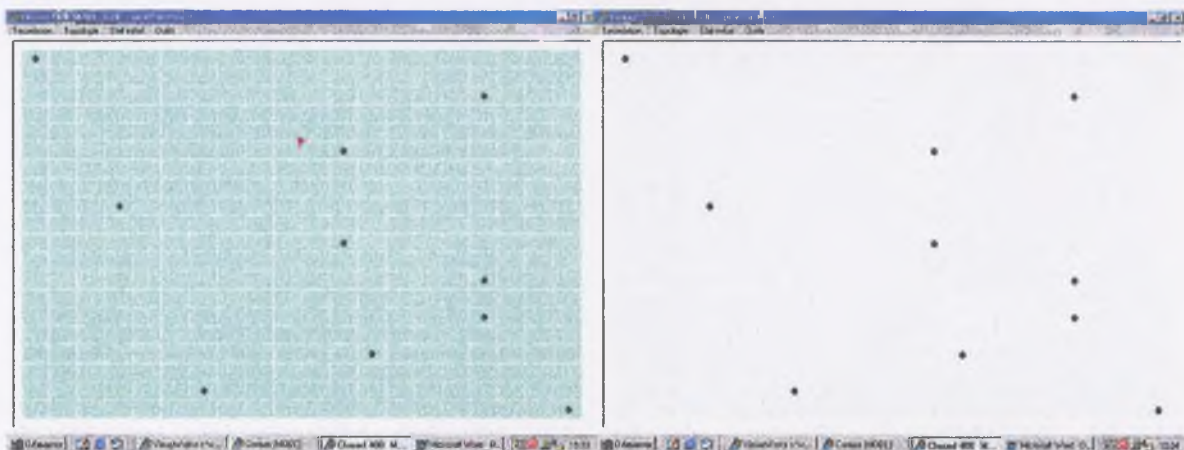
- Figure 3 : Simulation 1. Scénario de base- Evolution de la ressource en bois.
- Figure 4 : Simulation 1. Scénario de base- Quantités de bois dans la filière.
- Figure 5 : Simulation 1. Scénario de base- Prix et marges aux divers stades de la filière.

La relation qui existe entre le volume de bois vert et de bois mort explique que le maintien d'un volume de bois vert sur les cellules éloignées permet d'assurer une stabilité du volume de bois mort (figure 3). Les importantes capacités du secteur commerce transport se traduisent par un volume demandé par les transporteurs très important qui s'ajuste très lentement (au bout du 20^{ème} pas de temps).

En dépit de la variation forte de la production (figure 4) qui entraîne une irrégularité de l'approvisionnement du marché, les prix au collecteurs ont un croissance lente dans les dix premiers pas de temps : ils atteignent 2500 F au bout de 10 ans (figure 5). A partir de ce pas de temps, le manque de bois dans la filière amène les transporteurs à augmenter les prix payés aux collecteurs. Au long de la simulation, on observe une réduction des profits à l'échelle de la filière (figure 5).

Simulation 1Bis : collecteurs dispersés.

A la fin de la simulation, la ressource en bois vivant est plus exploitée que dans la simulation précédente : on n'observe pas de cellules non atteintes par l'exploitation, ce qui se traduit par une disparition du bois mort à partir du 15^{ème} pas de temps (cf. figure 6)

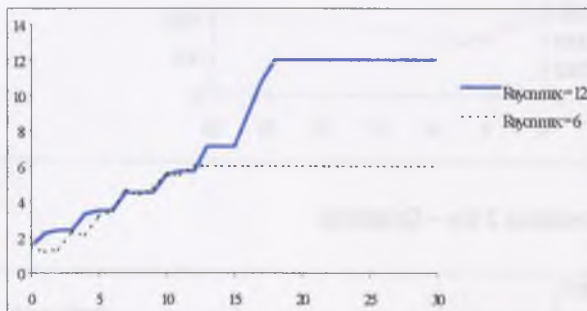


Les résultats figurent ci contre :

- Figure 6 : Simulation 1Bis. Scénario de base- Evolution de la ressource en bois.
- Figure 7 : Simulation 1 Bis. Scénario de base- Quantités de bois dans la filière.
- Figure 8 : Simulation 1Bis. Scénario de base- Prix et marges

Dans ce scénario, la production plus forte au départ, décroît très rapidement et ne suffit pas pour satisfaire le marché à partir du 5^{ème} pas de temps. Ce rationnement de la demande ne se traduit pas par un ajustement plus rapide des capacités des transporteurs commerçants (figure 7) Les prix et marges suivent les mêmes tendances que dans la simulation 1 (figure 8).

Une question est apparue lors de ces simulations sur l'influence de la distance de collecte : en effet, les collecteurs ne peuvent se déplacer au-delà d'une distance de 6 cellules⁶⁶. On remarque que cette distance maximum de collecte est rapidement atteinte (voir figure suivante).



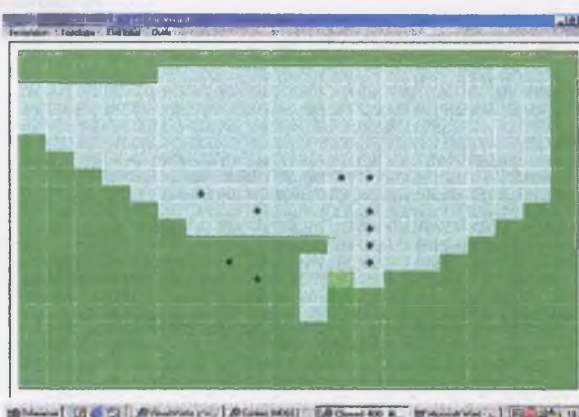
Pour tester l'influence de ce paramètre, les simulations 1 et 2 ont été lancées avec une distance maximum de 12 cellules. Pour la simulation 1, la différence réside essentiellement dans la ressource : comme les collecteurs groupés peuvent atteindre toutes les cellules, la ressource est plus dégradée. Pour la simulation 2, les différences sont faibles.

B. Scénario avec quotas par zones

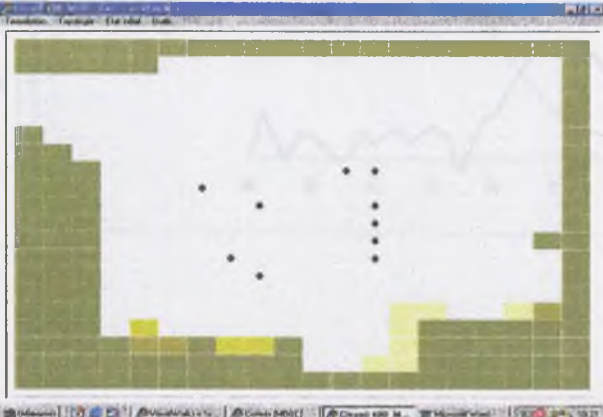
Les collecteurs exploitent selon les règles de quotas de la zone sur laquelle ils sont placés. Les scénarios 2 et 2 bis retracent le scénario quota global par zone selon la configuration des collecteurs.

Simulation 3 : Collecteurs Groupés

Point de vue « bois vivant »



Point de vue « bois mort »

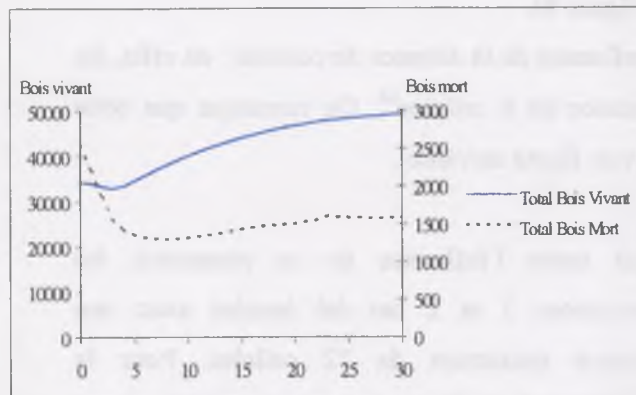


⁶⁶ Cette hypothèse, un peu ad'hoc, permet en particulier d'accélérer le déroulement du modèle.

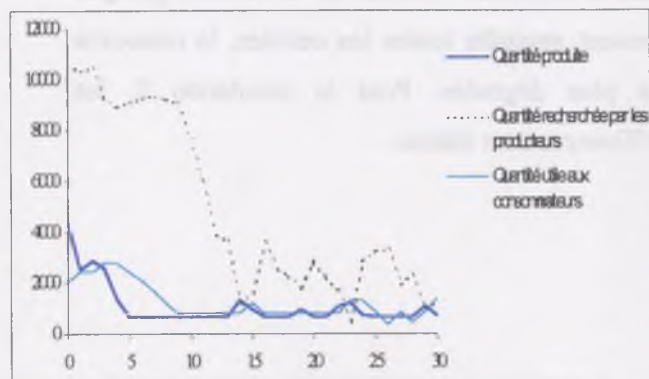
Scénario zone et quotas – Simulations 2 et 2 bis.

Simulation 2 – Groupés – Scénario avec quotas
Figures 9,10,11.

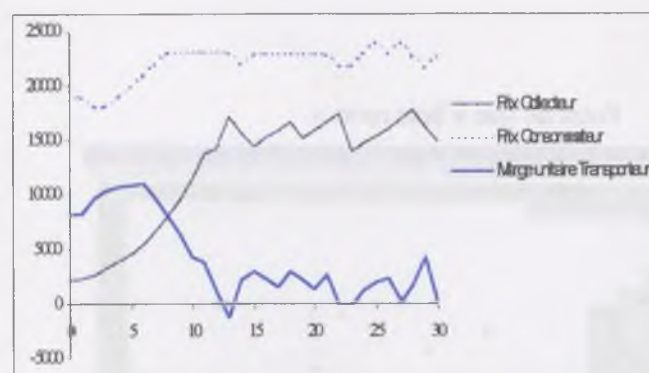
Simulation 2 – Evolution de la ressource en bois



Simulation 2 – Quantités

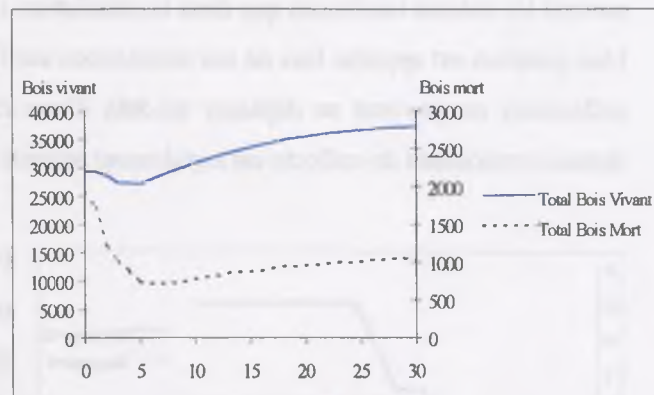


Simulation 2 – Prix et marges

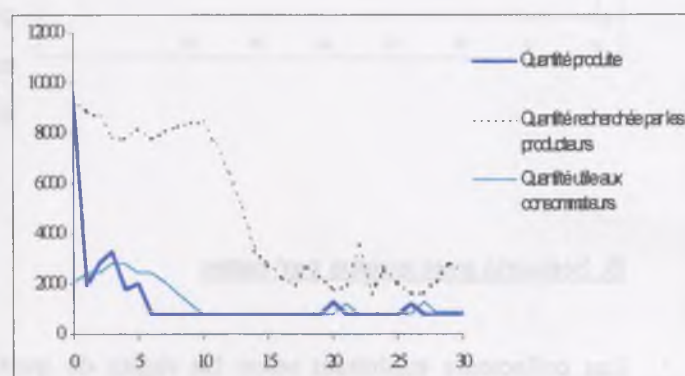


Simulation 2 bis – Répartis . Scénario avec quotas
Figures 12,13,14

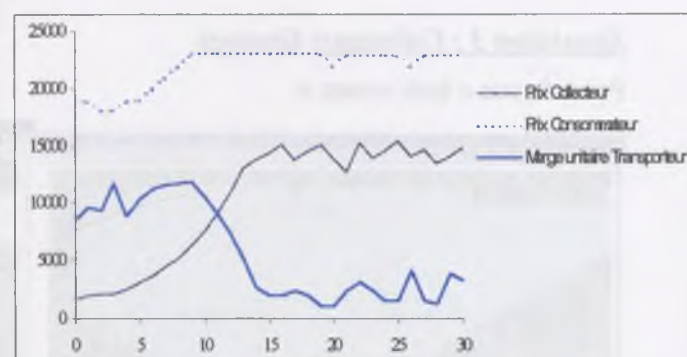
Simulation 2 bis – Evolution de la ressource en bois

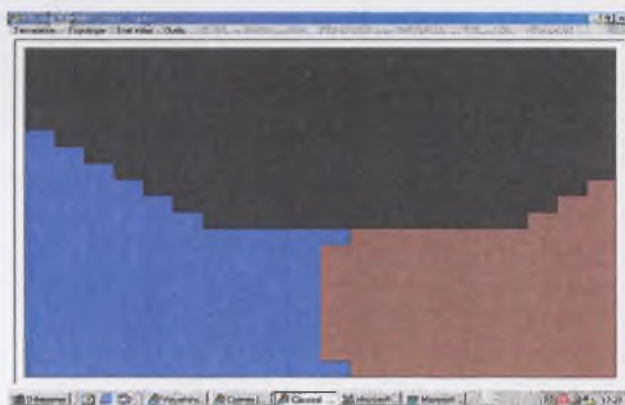


Simulation 2 bis – Quantités



Simulation 2 bis – Prix et marges





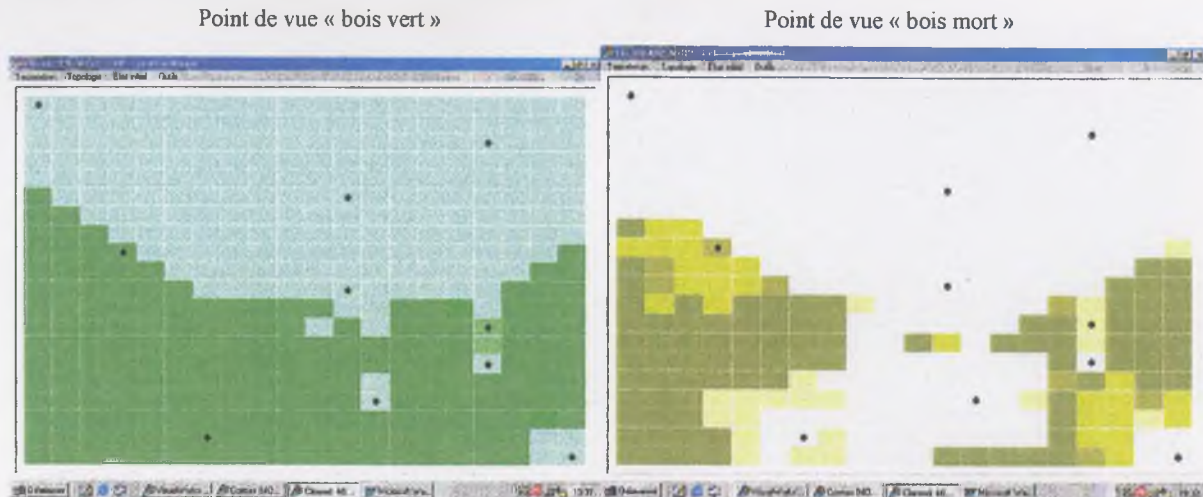
Point de vue « zones »

Dans la zone 1 (en noir) où il n'existe pas de quotas, le bois mort et le bois vivant sont dégradés, sauf loin du centre. Dans la zone 2 (en bleu) où des quotas sont imposés sur le bois mort, la ressource en bois mort est faible à proximité du centre. Dans la zone 3 (en marron) où les quotas portent sur les deux types de ressources bois mort et bois vivant, la ressource bois mort est exploitée aussi en auréole à partir du centre et la ressource bois vert est peu exploitée en fin de simulation. Les résultats sont présentés ci-contre :

- Figure 9 : Simulation 2. Avec quota : Evolution de la ressource en bois
- Figure 10 : Simulation 2. Avec quota : Quantités
- Figure 11 : Simulation 2. Avec quota : Prix et marges

Ce scénario illustre l'efficacité de l'instrument quota pour maintenir la ressource. Globalement, le niveau de ressource est du double de celui atteint dans le scénario de base (figure 9). Le marché est en équilibre dès le 8^{ème} pas de temps après plusieurs pas de temps où il n'est pas satisfait (figure 10). L'ajustement de la production se fait plus rapidement au stade de la collecte qu'au stade du commerce où subsistent des surcapacités importantes jusqu'au 15^{ème} pas de temps. La tendance des prix au consommateur sensiblement identique à celle observée dans la situation sans quota, avec une relative stabilité atteinte plus rapidement (fig. 11). Les prix payés aux collecteurs croissent plus rapidement pour atteindre un niveau supérieur à la situation sans quota. Une différence majeure apparaît au niveau des marges qui, après avoir été plus élevées que dans la situation sans quotas, deviennent très irrégulières et se réduisent fortement pour les transporteurs dès le 8^{ème} pas de temps.

Simulation 2 bis : quota et collecteurs répartis



(mêmes zones que précédemment).

Cf. page précédente :

- Figure 12 : Simulation 2 bis. Avec quota : Evolution de la ressource en bois.
- Figure 13 : Simulation 2 bis. Avec quota : Quantités
- Figure 14 : Simulation 2 bis. Avec quota : Prix et marges

L'efficacité des quotas apparaît également dans ce scénario du point de vue de la ressource. La position des collecteurs sur la grille spatiale influence peu les résultats de la simulation avec quota . Tout au plus observe-t-on un effet sur la ressource bois mort plus largement exploitée au tout début de la simulation et des marges des transporteurs toujours irrégulières mais un peu plus fortes.

Comparaison des équilibres entre scénarios avec ou sans quotas.

Le tableau suivant illustre la variation des équilibres atteints en moyenne sur les 10 derniers pas de temps pour les scénarios 1 (simple, groupés) et 2 (quotas, groupés), 1bis (simple, répartis) et 2bis (quotas, répartis), calculés sur plusieurs simulations successives. Les quantités sont en tonnes, les prix, coûts et marges et FCFA/kg. Les résultats moyens sont calculés sur les 10 derniers pas de temps.

Tableau 11. Résultats moyens pour les scénarios avec ou sans quota

Scénario	Total Bois Mort	Total Bois Vivant	Prix Consom- mateur	Prix Collecteur	Coût Unitaire Transporteur	Marge Unitaire Transporteur	Production Totale	Quantité recherchée par les T.	Quantité utile aux Conso.	Distance de collecte
1 : Base G.	640	18 047	22 820	14 473	6 005	2 342	785	2 110	867	6
1bis : Base R.	0	7 227	22 417	12 134	5 767	4 515	1 234	3 842	1 301	6
2 : Quota G.	1 572	48 142	22 923	15 924	5 413	1 586	769	2 064	822	6
2bis : Quota R	1 028	36 747	22 524	14 375	5 911	2 239	973	2 373	998	6

La mise en place de quota a un effet net sur la ressource. L'impact est moindre sur les prix : les prix à la consommation sont sensiblement identiques, les prix collecteurs plus élevés de 5% dans la situation avec quotas. L'impact le plus important peut être observé sur les marges de la filière : celle des transporteurs se réduit, de même que la production, alors que les capacités restent importantes sur le secteur du transport commerce en dépit de leur réduction sous le scénario quota. En revanche le revenu global des collecteurs est peu touché (il est un peu plus important dans le cas groupé, un peu moins dans le cas réparti). On peut noter également que l'équilibre sur le marché atteint plus tôt avec les quotas.

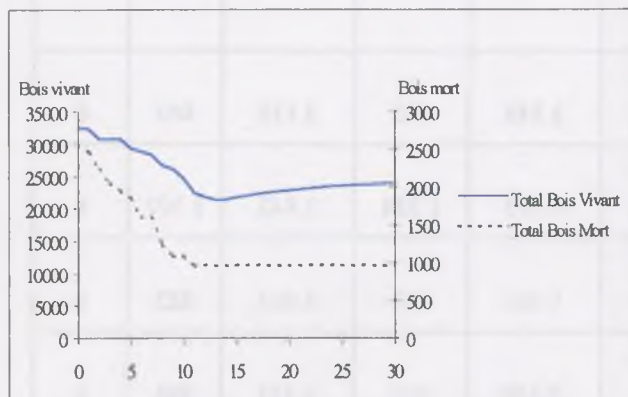
Le scénario quota permet plusieurs observations :

- Alors que cet instrument s'applique au stade de la collecte et modifie les interactions entre collecteurs et ressource, les effets économiques les plus importants sont au stade du transport-commerce. Ce secteur voit sa situation se détériorer par rapport à la situation sans quota.
- Globalement, les règles mises en place (l'interdiction de collecte du bois vert en zone 2 avec quotas sur bois mort ; quotas sur bois mort et vert en zone 3) compensent du point de vue de la ressource l'effet de l'exploitation intensive de la zone incontrôlée. On peut envisager de tester la sensibilité des résultats du modèle à la superficie mise sous quota.
- De même, le respect des règles imposées pourrait être testé. La question peut être : si un agent adopte un comportement de non respect et que ce comportement peut se diffuser, à partir de quelle proportion d'agents tricheurs, les effets de cette régulation sont annulés ? Le coût du contrôle devient alors une variable importante. On peut penser par exemple à simuler le trafic des coupons mentionné en partie II.

Scénario avec taxe à 5000 – Simulations 3 et 3 bis

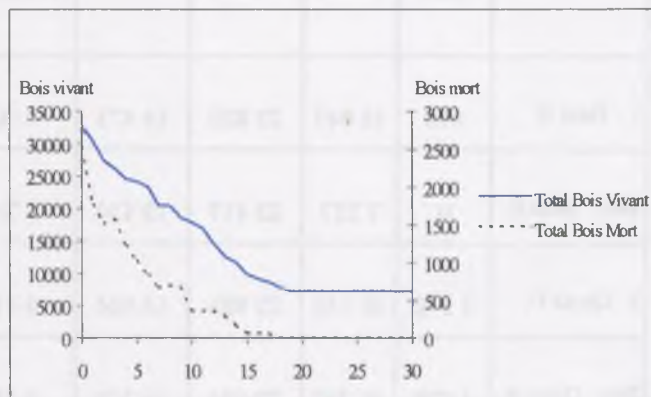
Simulation 3- Scénario avec taxe à 5000 – Groupés
Figures 15,16,17

Simulation 3 – Evolution des ressources en bois

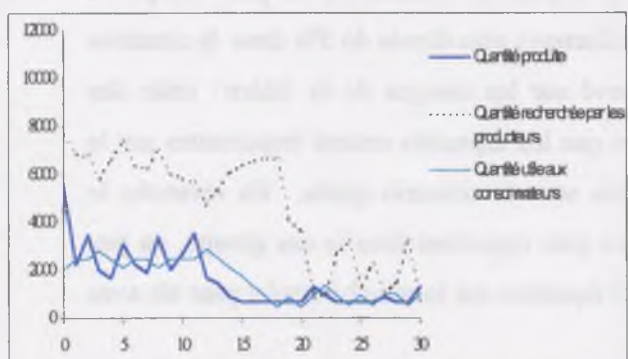


Simulation 3 Bis – Scénario avec taxe à 5000 – Répartis
Figures 18,1,20

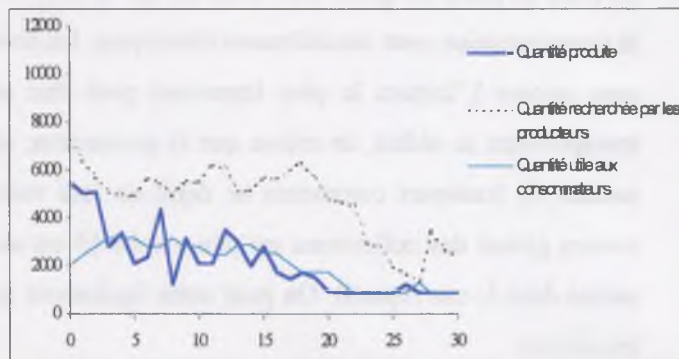
Simulation 3 bis- Evolution des ressources en bois



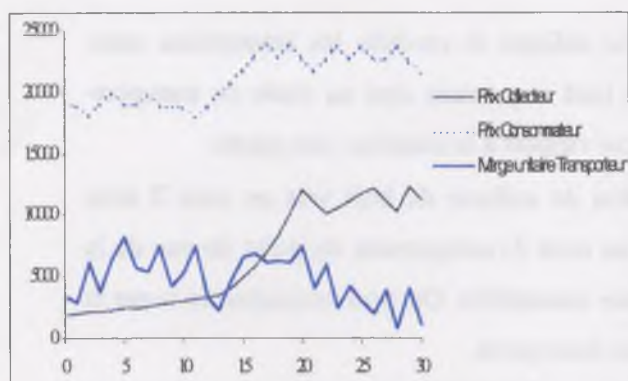
Simulation 3- Quantités



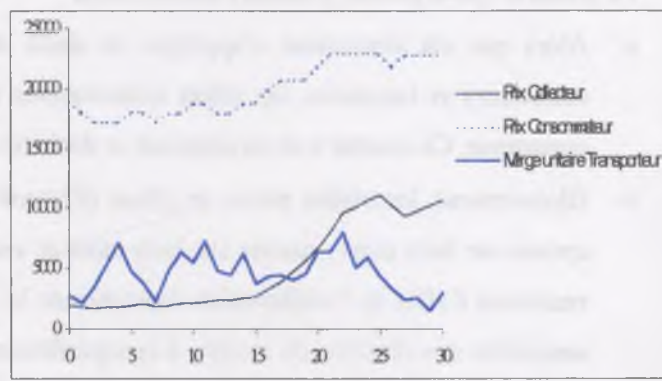
Simulation 3 Bis – Quantités



Simulation 3 – Prix et marges



Simulation 3 Bis – Prix et marges



- Cette règle ne permet donc pas un contrôle total sur le système du point de vue de la ressource et des rémunérations du secteur mais un contrôle partiel.

C. Scénario avec taxes sur les transporteurs

Deux niveaux d'une taxe, payée par les transporteurs, sont simulés et comparés au modèle de base :

- Une taxe de 5.000 FCFA/kg (simulations 3 et 3bis) ;
- Une taxe à 10.000 F CFA/kg (simulations 4 et 4bis) .

A l'initialisation du modèle, le prix d'achat du bois au collecteur reste fixé entre 1500 et 2500 FCFA, le prix du marché à 20 000 FCFA/kg.

Simulation 3 : taxe 5000 et collecteurs groupés

La visualisation à l'écran montre, au bout de 30 pas de temps, pour ce scénario, la même distribution de la ressource que dans le modèle de base sans instruments. L'exploitation est concentrique autour des collecteurs groupés : une bande non exploitée, où se trouvent les deux ressources bois mort et bois vert, persiste dans la frange la plus éloignée du centre. Les figures ci-contre présentent les indicateurs suivis.

- Figure 15 : Simulation 3. Avec Taxe1 : Evolution de la ressource en bois.
- Figure 16 : Simulation 3. Avec Taxe1 : Quantités
- Figure 17 : Simulation 3. Avec Taxe1 : Prix et marges

On observe cependant (cf. Figure 15), que le niveau de ressource en bois mort comme en bois vert est plus important dans ce scénario sur la durée de la simulation. Dès 10^{ème} pas de temps, la décroissance de la ressource est stoppée, la dynamique du recru végétal compense les effets de la collecte de bois vert et le niveau des ressources est stabilisé. Les quantités consommées, produites et les capacités des transporteurs suivent le même trend que dans le scénario sans instruments (figure 16). En revanche, les prix au stade de la collecte toujours en croissance au long de la simulation atteignent un niveau inférieur à celui sans instruments et les prix à la consommation montrent une plus grande irrégularité (figure 17).

Simulation 3bis : taxe 5.000 et collecteurs répartis

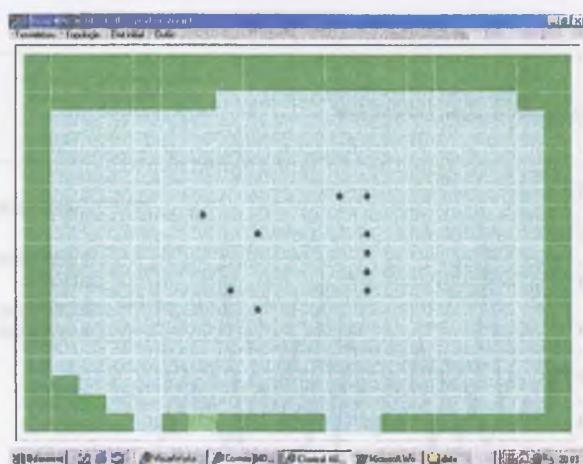
La configuration spatiale de l'exploitation visualisée à l'écran est identique à celle du cas réparti sans instruments. La comparaison des résultats des simulations avec taxe dans le cas groupé et réparti peut être observée ci-contre :

- Figure 18 : Simulation 3bis. avec Taxe1 : Evolution de la ressource en bois.
- Figure 19 : Simulation 3bis. avec Taxe1 : Quantités
- Figure 20 : Simulation 3bis. avec Taxe1 : Prix et marges

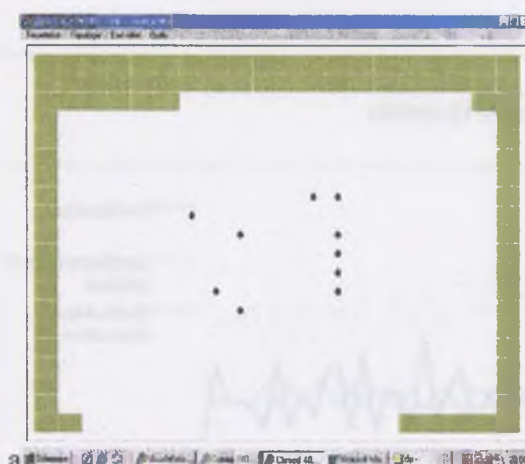
Dans le cas réparti, le maintien de la ressource vert est assuré à partir du 20^{ème} pas de temps à un niveau inférieur à celui du cas groupé (figure 15), alors que la ressource bois mort disparaît en milieu de simulation. La production est plus importante et l'ajustement des capacités des transporteurs plus rapide (figure 16). La différences majeures au niveau des prix proviennent d'une croissance plus réduite du prix au collecteur et moins irrégulière du prix du marché. En fait, le scénario avec taxe « faible » dans le cas réparti est assez analogue au scénario 1bis (sans instruments répartis) : mais la taxe parvient à réguler les surcapacités des commerçants-transporteurs et à limiter la croissance du prix au collecteur grâce au maintien de la production.

Simulation 4 : taxe 10.000 et collecteurs groupés

Point de vue « bois vert »



Point de vue « bois mort »



La même exploitation concentrique peut être observée sur l'écran en revanche, les graphiques ci après montrent une tendance très différente de tous les indicateurs observés.

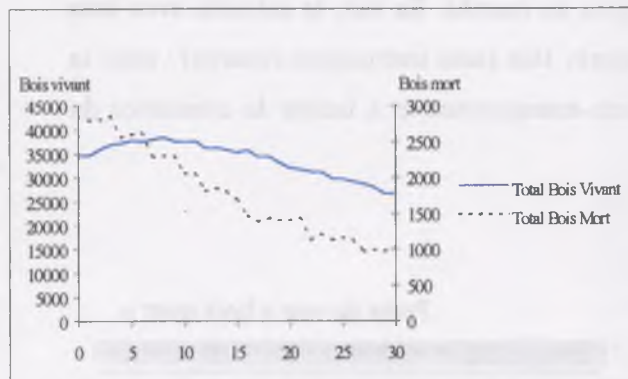
- Figure 21 : Simulation 4. avec Taxe2 : Evolution de la ressource en bois.
- Figure 22 : Simulation 4. avec Taxe2 : Quantités
- Figure 23 : Simulation 4. avec Taxe2 : Prix et marges

La ressource bois vert est maintenue avec même légère croissance jusqu'au 29^{ème} pas de temps, et la décroissance de la ressource bois mort est plus progressive (figure 21). L'indicateur quantité montre une plus grande variabilité des quantités : les quantités demandées par le marché comme les quantités produites sont plus irrégulières mais se situent à un niveau plus élevé que dans le cas sans instrument ou avec taxe faible, : ainsi la production est d'environ 1500 tonnes par an en moyenne au long de la simulation (figure 22). Les prix du marché et marges des transporteurs ont un trend stationnaire et montrent également des cycles autour de ce trend alors que le prix au collecteur est maintenu tout au long de la simulation à un niveau très proche du prix initial entre 1500 et 2500FCFA/kg.

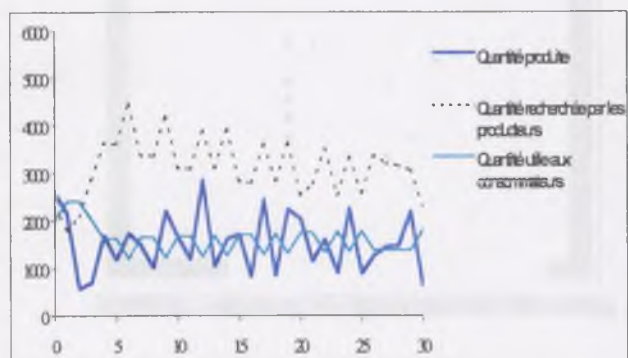
Scénario avec taxe 10 000 – Simulations 4 et 4 bis.

Simulation 4- Scénario avec taxe à 10 000 – Groupés
Figures 21, 22, 23.

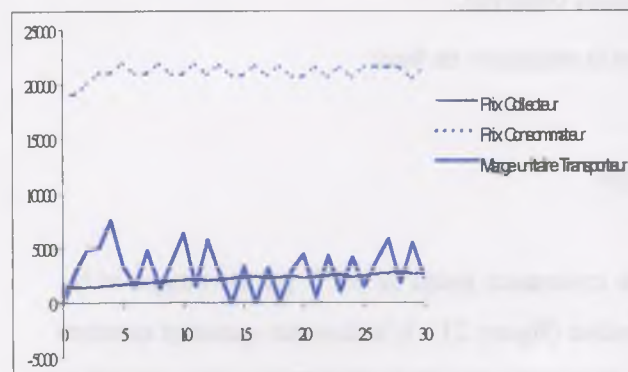
Simulation 4 - Evolution de la ressource en bois



Simulation 4- Quantités

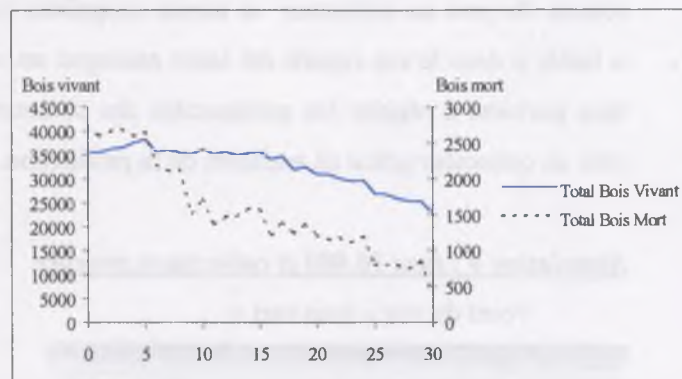


Simulation 4- Prix et marges

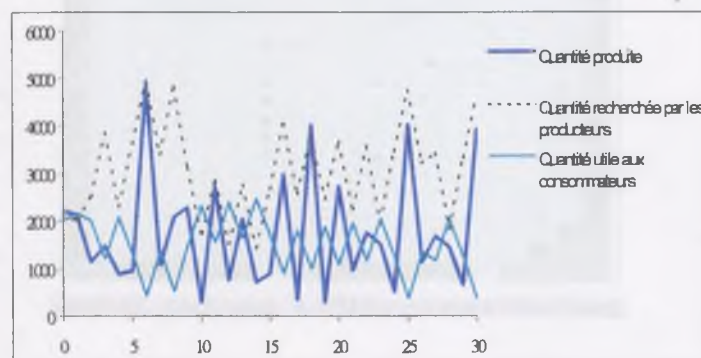


Simulation 4bis - Scénario avec taxe à 10 000 – Répartis
Figures 24, 25, 26.

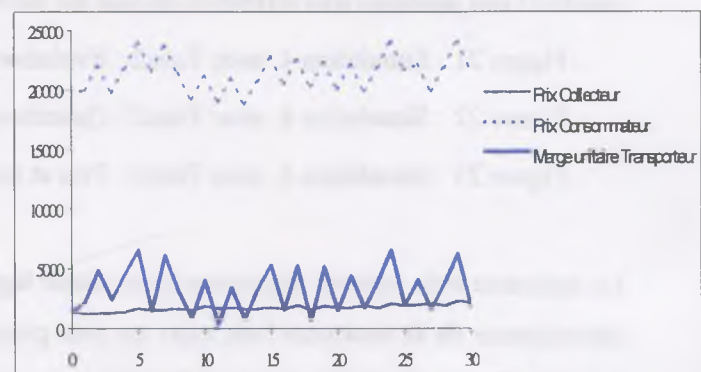
Simulation 4bis – Evolution de la ressource en bois



Simulation 4 Bis. Quantités.

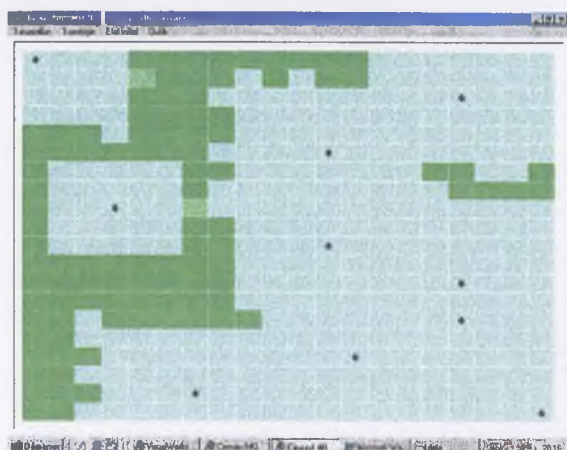


Simulation 4 Bis – Prix et Marges

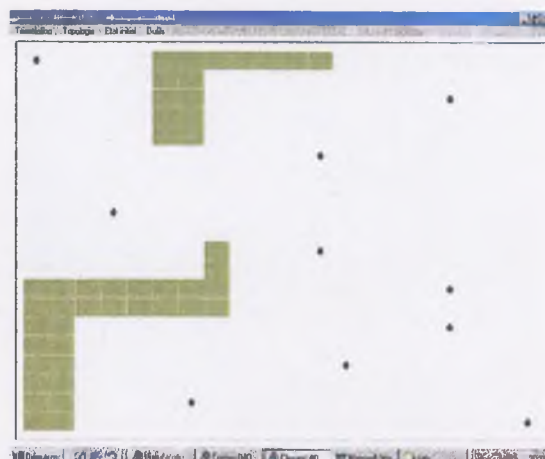


Simulation 4bis : taxe 10.000 et collecteurs répartis

Point de vue « bois vert »



Point de vue « bois mort »



La configuration de l'exploitation perd dans ce cas son caractère concentrique. Le rôle de l'hétérogénéité des acteurs dans leur évaluation de l'incitation à exploiter est illustré dans ce cas (cf graphiques ci-contre)..

- Figure 24 : Simulation 4 bis. Avec Taxe2 : Evolution de la ressource en bois.
- Figure 25 : Simulation 4 bis. Avec Taxe2 : Quantités
- Figure 26 : Simulation 4 bis. Avec Taxe2 : Prix et marges

En matière de résultats sur la ressource, ces simulations en montrent pas de différences sensibles avec le cas groupé (figure 24). En revanche, des différences apparaissent quant aux quantités transitant dans la filière. La production est plus élevée dès le 5^{ème} pas de temps et plus variable. De fortes oscillations sont constatées pour les quantités demandées par le marché final ou les capacités de transporteurs (figure 25). Mais le trend reste stable et dans le même ordre de grandeur que le cas groupé. Au niveau des prix, le prix à la consommation montre plus d'instabilité (Figure 26).

Discussion sur les taxes : comparaison des équilibres.

Le tableau suivant illustre la variation des équilibres atteints en moyenne sur les 10 derniers pas de temps pour les scénarios de base sans taxe (simulations 1 et 1bis) et les scénarios avec taxe 1 (simulations 3 et 3 bis) et taxe 2 (simulations 4 et 4 bis), calculés sur plusieurs simulations successives. Les quantités sont en tonnes, les prix, coûts et marges et FCFA/kg. Ces résultats sont calculés sur les 10 derniers pas de temps.

Tableau 12. Résultats moyens pour les scénarios de base et les scénarios avec taxe 1 et taxe 2.

Scénario	Total Bois Mort	Total Bois Vivant	Prix Consom- mateur	Prix Collecteur	Coût Unitaire Transporteur	Marge Unitaire Transporteur	Production Totale	Quantité recherchée par les T.	Quantité utile aux Conso.	Distance de collecte
1 : Base G	640	18 047	22 820	14 473	6 005	2 342	785	2 110	867	6
1bis : Base R	0	7 227	22 417	14 134	5767	2 515	1 004	2 842	1 001	6
3 : Taxe 1 G.	646	18 170	22 738	9 772	5477	2 490	854	3 128	921	6
3bis : Taxe 1 R.	32	8 210	21 836	<u>6 901</u>	5881	<u>4 053</u>	1 230	4 182	1 360	6
4 : Taxe 2 G.	1 057	<u>28 497</u>	21 294	<u>2 471</u>	6147	2 676	<u>1 625</u>	3 141	1 486	4
4bis : Taxe 2 R.	854	<u>26 794</u>	21 317	<u>1 869</u>	6014	<u>3 434</u>	<u>1 741</u>	3 413	1 486	2

La taxe a l'effet attendu pour ralentir la dégradation des deux types de ressources, tout en maintenant un niveau de production plus élevé compatible avec le marché. Cet effet provient de la conjonction de deux facteurs :

- d'une part la distance de collecte qui diminue, en raison de la baisse du prix collecteur qui réduit les incitations à l'activité collecte du bois.
- d'autre part d'une moindre pression sur les ressources au démarrage des simulations. Les ressources sont ainsi maintenues en quantités suffisantes sur les cellules pour alimenter le marché.

En revanche, la taxe perturbe le prix du marché qui est plus variable que dans les simulations simples ou avec quota : cette perturbation augmente avec le niveau de taxe. De même, on peut noter que les surcapacités dans le secteur du transport commerce sont plus réduites quoique variables.

La mise en œuvre de ce scénario montre qu'il est très sensible au niveau de la taxe. Plusieurs remarques peuvent être faites :

- La taxe modifie les interactions entre transporteurs-commerçants et par conséquent, les interactions entre collecteurs et ressources. L'activité de collecte s'adapte à ces nouvelles conditions.
- La taxe est payée par les transporteurs mais un de ses effets les plus patents concerne la stabilisation à un faible niveau du prix au collecteur. Ce scénario amène à se poser la question du segment de la filière qui supporte la taxe. Il semble d'après ces résultats que la taxe est supportée

par le collecteur. Le prix auquel le transporteur lui achète le bois n'évolue pas au long de la simulation car l'équilibre du marché est atteint plus vite. Il est intéressant de noter qu'au Niger, un prix d'achat minimum au collecteur a été imposé en même temps que le système de taxe, afin probablement d'éviter cette chute du prix au collecteur. En revanche, l'outil quota maintenait une croissance du prix au collecteur en raison de l'effet rareté créée.

- la marge du transporteur est plus élevée dans les deux cas avec taxe que sans instruments. Elle est aussi plus importante que dans le cas avec quota (cf. tableau 11).

34. Discussion – Perspectives et Usage du modèle.

Le modèle réalisé comporte une ressource dynamique située sur un espace et deux configurations de l'exploitation du bois-énergie : une configuration où, au démarrage du modèle, l'exploitation est très localisée (groupée) et une configuration à l'exploitation est plus diffuse dans l'espace (répartie). Les différents agents de la filière agissent en fonction de leur intérêt propre. Les interactions entre acteurs se font par des échanges bilatéraux entre acteurs suscités par une demande issue du marché. Le marché est représenté comme un agent caractérisé par une fonction de demande. La dynamique du modèle dépend de :

- caractéristiques liées à la représentation d'une filière économique spatialisée (la distribution de la ressource sur l'espace, la distribution des agents sur le territoire et les coûts)
- et de la modélisation d'agents hétérogènes mais en retenant l'hypothèse d'agents maximisateurs d'une utilité de la théorie standard.

Pour les deux configurations d'exploitation du bois, nous avons testé trois scénarios de simulation :

- un scénario sans règles, qui nous sert de scénario de référence.
- Un scénario où des zones d'exploitation sont définies et caractérisées par des quotas d'exploitation plus ou moins fort imposés sur les quantités susceptibles d'être ramassées par les paysans collecteurs. On a donc une contrainte sur les actions possibles pour les collecteurs et modifient les interactions entre ressource et collecteurs.
- Un scénario où une taxe fixe est imposée aux transporteurs. La taxe est fixée au kg de bois achetée par les transporteurs et modifie directement les interactions entre collecteurs et commerçants. Pour tous nos scénarios, nous avons fait l'hypothèse que les agents respectent la règle proposée.

Dans un premier temps, il s'agissait de pour nous de tester la représentation des instruments que nous avons introduite dans le modèle. Les résultats obtenus présentent une cohérence par rapport aux effets théoriques attendus des instruments du point de vue de la ressource et de l'allocation réalisée, en référence au modèle de base sans outils. La mise en place de quota permet de maintenir la ressource

mais dans des conditions qui rendent difficile le maintien des revenus à certains stades de la filière commercialisation du fait de surcapacités et la satisfaction de la consommation. La taxation permet de ralentir la pression sur la ressource et d'améliorer l'allocation mais au prix d'une plus grande irrégularité du secteur.

Dans un second temps, il s'agissait d'identifier des conditions qui pourraient avoir un effet sur le fonctionnement et l'efficacité de ces instruments.

1. Nous avons identifié tout d'abord le rôle de la configuration spatiale de l'exploitation. Selon que la collecte s'effectue de façon groupée ou répartie dans l'espace, certains instruments ne présentent pas la même efficacité : la taxe est notamment affectée par cette configuration.
2. Le stade de la filière auquel sont mis en place les instruments de gestion n'est pas le stade principalement affecté par leurs effets. Cette observation a pu être faite à partir du premier modèle
3. La fixation de l'intensité de l'instrument : il apparaît dans les résultats de ce modèle que les effets des instruments sont très sensibles au niveau de taxation. Une perspective de ce modèle consiste à tester les effets de l'instrument quota selon son niveau global ou l'importance de la superficie mise sous quota.
4. Les interactions représentées entre collecteurs et commerçants sont des échanges bilatéraux, organisés au sein d'une filière. Les agents s'ajustent dans ces échanges bilatéraux à partir d'une information prix fournie par le « consommateur », le prix du marché. Une perspective de ce modèle consiste à représenter une modification de l'organisation des interactions suivant un modèle de marché rural. Le prix sera établi à travers la confrontation directe de l'ensemble des offres de produits collectés et de la totalité des demandes émanant des transporteurs et servira de base pour les actions de ces agents au pas de temps suivant.
5. Ce modèle représente des agents hétérogènes ayant le même processus de décision individuel. Une perspective du modèle est de tester d'autres processus de décision : c'est à dire d'autres motivations que l'intérêt propre (imitation, apprentissage).

Deux débats sont particulièrement présents en ce qui concerne la modélisation multi-agents : d'une part, la question de la représentation des règles de l'agent sur la base de théories de comportement valides et celle de l'usage des modèles multi-agents (Jager 2000, Bousquet, 1996). Notre ambition à partir de ce modèle qui part d'hypothèses de comportement au niveau micro-économique est d'explicitier des mécanismes théoriques plausibles et de confronter ensuite ces deux niveaux avec des observations empiriques.

Conclusion

Le cas étudié pour ce travail illustre un changement du contexte de la gestion forestière dans les PVD: le contexte traditionnel était celui d'une gestion de ressources non marchandes peu susceptibles de valorisation et donc menacées par la conversion des espaces forestiers en espaces agricoles des valorisation alternative des espaces forestiers, ou encore celui d'une gestion de ressources destinées à un usage sectoriel pour lesquelles se posaient la question de répartition de la rente entre l'Etat et les opérateurs industriels.

La vision dominante est maintenant est celui d'une gestion des forêts qui doit considérer des intérêts multiples et concilier la gestion durable des forêts et l'efficacité économique. Au niveau local l'exploitation des forêts n'est pas toujours inefficace dans le sens où les coûts sociaux sont supérieurs aux bénéfices privés des agents économiques. Un champs théorique important étudie les conditions dans lesquelles des institutions locales assurent un gestion durable des écosystèmes forestiers (Ostrom, 1990).

Mais dans le cas où des inefficacités existent, les solutions préconisées impliquent des mécanismes d'arbitrages entre les différents intérêts. Or, dans certaines conditions, la capacité de l'Etat à assurer cet arbitrage est remis en cause. Il est préconisé de faciliter le recours aux mécanismes concurrentiels de fixer des niveaux d'externalité compatibles avec l'efficacité économique.

De plus l'élargissement de la prise en compte de ces intérêts dans les années récentes a montré que nombres de coûts significatifs de l'exploitation des écosystèmes forestiers sont supportés au niveau global, en relation avec le stockage du CO₂ et la perte de biodiversité. Inclure cela rend les phénomènes de surexploitation des ressources forestières ou de dégradation des écosystèmes indésirables mais sans mécanisme compensant les pays du Sud, les questions de revenu global se rajoutent aux questions d'efficience économique (Kaimowitz, Angelsen, 1998.)

L'efficacité (ou l'inefficacité) des instruments de politiques au regard de l'efficience recherchée est prévue en théorie sans que les conditions économiques, politiques ou institutionnelles soient réunies pour leur fonctionnement. Qu'il s'agisse du fonctionnement effectif d'un marché concurrentiel, d'une volonté politique d'utilisation de ces outils dans une optique de gestion des ressources, ou des modes d'organisation collectives qui permettent la mise en place de certains instruments : droits de propriété par exemple. ..

Le travail effectué dans le cadre de ce mémoire a pour but de réfléchir aux conditions de fonctionnement des différents instruments des politiques, qu'ils soient économiques ou non-économiques. Nous avons choisi une démarche progressive de construction d'un système « complexe » d'interactions entre différents acteurs et de simulation dans une optique de compréhension des dynamiques observées. L'objet est d'évaluer l'efficacité des ces instruments dans différents contextes d'interactions. Cet essai méthodologique ouvre un ensemble de questions que nous envisageons de traiter par une confrontation de ce premier modèle avec des observations de terrain, puis un retour au modèle pour affiner la représentation des dynamiques de comportements utilisés pour les agents.

Annexes

Annexe 1 : Rappel du cadre d'analyse de la théorie néo-classique.

	Individuel	Collectif
Niveau d'analyse	Action rationnelle des acteurs pour satisfaire leurs préférences (finalité de l'action). Acteur = unité de décision définie par sa relation de préférence.	Compréhension du fonctionnement de l'économie à partir des mécanismes de coordination susceptibles de rendre actions mutuelles des agents compatibles
Point de vue sur	<i>Choix d'action</i> = affecter des ressources individuelles Choix des individus expliquent les interactions (échanges)	<i>Etat de l'économie</i> = allocation des moyens de production et des biens de consommations résultant de la confrontation des actions individuelles.
Elaboration Théorique	<i>Théorie de la décision individuelle</i> : choix d'action selon le critère de décision de la maximisation de l'utilité de l'action. Fonction d'utilité classe conséquences des actions du point de vue de ses préférences.	<i>Théorie néo-classique</i> : Comparaison d'états de l'économie selon critère de l'efficacité Parétienne ⁶⁷ . Avec l'existence d'un marché concurrentiel (libre échange des biens et facteurs de production), le système de prix qui aboutit à un équilibre sur ce marché est compatible avec une allocation optimale au sens de Pareto.
Données à priori	Structure du problème de choix (information parfaite sur actions, état de nature et conséquences d'actions). Préférences (non mesurables, elles sont révélées)	Dotations initiales des agents en ressources (déterminent niveau de rémunération des agents) Contraintes techniques de production
Remarque	Décision et action confondus	Séparation des problèmes d'efficacité économique et des questions de redistribution des revenus (politique) liés à dotation initiale des agents.

⁶⁷ Critère d'efficacité au sens de Pareto : une allocation est efficace si il n'existe pas d'alternatives réalisables, étant données les contraintes techniques et de rareté, qui permettrait d'augmenter l'utilité d'au moins un agent sans en même temps, réduire celle d'au moins un autre. Si libre échange des biens et facteurs de production (marché concurrentiel), il existe un ensemble d'allocation réalisant l'équilibre de ce marché concurrentiel, étant donné les dotations initiales individuelles et les contraintes techniques de production, qui sont efficaces au sens de Pareto.

Annexe 2. Quelques modèles de déforestation couvrant la zone sèche en Afrique.

Source Kaimowitz D. , Angelsen A., 1998.

Tchad.

Chomitz and Griffiths, 1997.

Modèle de simulation spatial régional.

Bostwana

Unemo, 1995.

Modèle d'équilibre général calculable.

Soudan

Elnagheeb Bromley, 1994.
partiel.

Modèles macroéconomique ou équilibre

Tanzanie

Angelsen *et al.* 1996.

Modèle de régression (échelle régionale)

Monela. 1995

Modèles de programmation linéaire

Sankhayna. 1996.

Modèle de programmation linéaire.

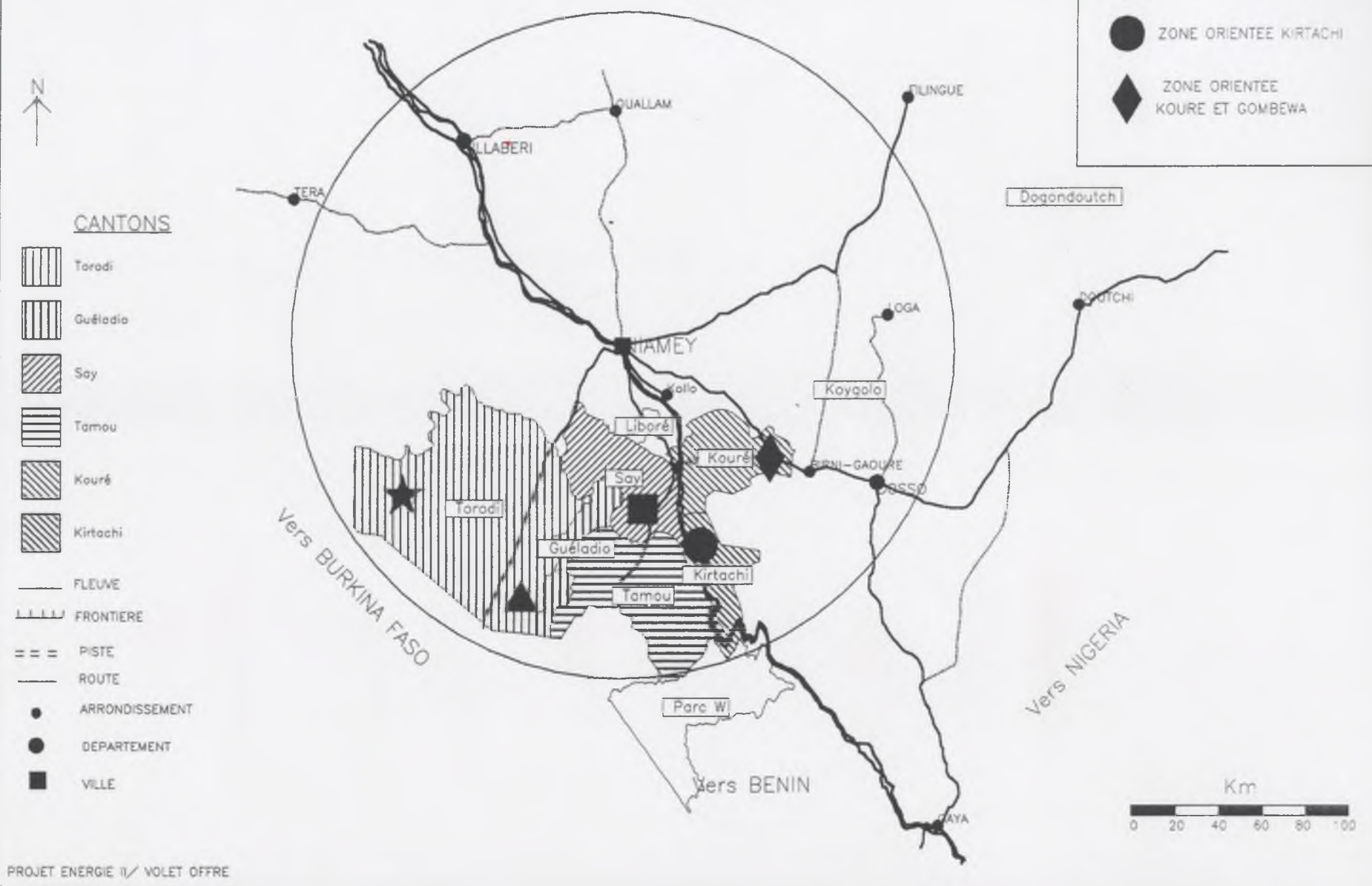
Annexe 3 : Importance des marchés ruraux dans la consommation au Niger

	1992	1993	1994	1995	1997
Consommation annuelle en tonnes	139 000	143 000	148 000	152 000	Env. 160 000
Importance des marchés ruraux :					
- en tonnes	2 000	11 000	48 000	83 000	78 500
- en % de la consommation	0,5%	2%	12%	23%	20%

Source : *Indicateurs n°8. in la Ribardière, 1998.*

SITUATION DES ZONES ACTUELLES DE PRODUCTION

(ORIENTEES OU CONTROLEES)



Annexe 5 : Définition d'un système multi-agents et d'un agent.

Source : Ferber J., 1995. Ferber J., 1995. *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective.* Paris, InterEditions, 522p.

"On appelle système multi-agent (ou SMA), un système composé des éléments suivants:

1. Un environnement E, c'est à dire un espace disposant généralement d'une métrique.
2. Un ensemble d'objets O. Ces objets sont situés, c'est à dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans E. Ces objets sont passifs, c'est à dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.
3. Un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers, lesquels représentent les entités actives du système.
4. Un ensemble de relations R qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
5. Un ensemble d'opérations Op permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O.
6. Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers." (Ferber, 1995: 15)

Les agents eux-mêmes sont définis comme suit :

"On appelle agent une entité physique ou virtuelle

- a. qui est capable d'agir dans un environnement,
- b. qui peut communiquer directement avec d'autres agents,
- c. qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
- d. qui possède des ressources propres,
- e. qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
- f. qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune),
- g. qui possède des compétences et offre des services,
- h. qui peut éventuellement se reproduire,
- i. dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit." (Ferber, 1995: 13)

Annexe 6. Sugarscape.

(Epstein et Axtell, 1996).

Modèle de simulation qui représente l'émergence de la culture, des conflits et des échanges dans un monde virtuel. Il s'agit d'obtenir une analogie entre résultats du modèle et du monde réel sur la base d'agents représentés très éloignés de ceux du monde réel (Durlauf, 1997). Les agents relèvent du SMA dans le sens qu'ils ont une représentation de leur environnement, des besoins de ressources et une règle de décision simple visant au choix de la cellule maximisant le prélèvement de ressource. Chaque action a un coût et la consommation de la ressource détermine son degré de satisfaction des besoins et sa capacité de réaliser des actions. Ce modèle met en évidence une capacité de charge de l'environnement et une distribution de la consommation donc du bien être dans la population analogue à la distribution dans la société.

Sur cette base, les simulations portent sur l'extensions des règles avec croissance de la population, ou apparition d'une nouvelle ressource qui permet l'émergence du commerce. Sont aussi simulés deux types d'agents : le premier type dit « néo-classique », est celui d'agents présents tout au long de la simulation et ayant des préférences fixes. Le second type concerne des agents non standards, c'est à dire qui apparaissent dans la simulation et ont une durée de vie et dont les préférences varient. Les simulations avec agents non standards montrent une plus grande variabilité dans les prix issus des échanges et celles avec agents standard une plus grande inégalité dans la distribution du bien-être mais un équilibre apparaît.

Listes des TABLEAUX

Tableau 1. Comparaison des critères de choix de la réglementation et des outils économiques	16
Tableau 3: Répartition des recettes fiscales.....	40
Tableau 4: Règles d'exploitation et quotas sur zones.....	42
Tableau 5 : Elements d'un bilan de la politique	43
Tableau 6 : Les quotas du modèle.....	61
Tableau 7 : Scénario de base- Simulation 1.Indicateur 1 : Rapports écart-type / moyenne des résultats (CV).....	62
Tableau 8 : Scénario de base- Simulation1 sans aléatoire. Indicateur 1 : CV des résultats.....	63
Tableau 9 : Scénario de base- Simulation 1. Indicateur 2 : Moyenne des résultats des 20 derniers pas de temps.....	64
Tableau 10. Scénario de base- Simulation 1bis. Indicateurs 1 et 2 : CV et Moyenne.....	64
Tableau 11. Résultats moyens pour les scénarios avec ou sans quota.....	70
Tableau 12. Résultats moyens pour les scénarios de base et les scénarios avec taxe 1 et taxe 2.....	74

Listes des FIGURES

Figure 1: les instruments des politiques de gestion des forêts selon leur logique de mise en œuvre.....	16
Figure 2: Schéma UML du modèle.....	60
Figure 3 : Simulation 1. Scénario de base- Evolution de la ressource en bois.....	66
Figure 4 : Simulation 1. Scénario de base- Quantités de bois dans la filière.....	66
Figure 5 : Simulation 1. Scénario de base- Prix et marges aux divers stades de la filière.....	66
Figure 6 : Simulation 1Bis. Scénario de base- Evolution de la ressource en bois.....	66
Figure 7 : Simulation 1 Bis. Scénario de base- Quantités de bois dans la filière.....	66
Figure 8 : Simulation 1Bis. Scénario de base- Prix et marges.....	66
Figure 9 : Simulation 2. Avec quota : Evolution de la ressource en bois	68
Figure 10 : Simulation 2. Avec quota : Quantités.....	68
Figure 11 : Simulation 2. Avec quota : Prix et marges	68
Figure 12 : Simulation 2 bis. Avec quota : Evolution de la ressource en bois.....	69
Figure 13 : Simulation 2 bis. Avec quota : Quantités	69
Figure 14 : Simulation 2 bis. Avec quota : Prix et marges.....	69
Figure 15 : Simulation 3. Avec Taxe1 : Evolution de la ressource en bois.....	71
Figure 16 : Simulation 3. Avec Taxe1 : Quantités.....	71
Figure 17 : Simulation 3. Avec Taxe1 : Prix et marges	71
Figure 18 : Simulation 3bis. avec Taxe1 : Evolution de la ressource en bois.....	71
Figure 19 : Simulation 3bis. avec Taxe1 : Quantités	71
Figure 20 : Simulation 3bis. avec Taxe1 : Prix et marges.....	71
Figure 21 : Simulation 4. avec Taxe2 : Evolution de la ressource en bois.....	72

Figure 22 : Simulation 4. avec Taxe2 : Quantités.....	72
Figure 23 : Simulation 4. avec Taxe2 : Prix et marges	72
Figure 24 : Simulation 4 bis. Avec Taxe2 : Evolution de la ressource en bois.....	73
Figure 25 : Simulation 4 bis. Avec Taxe2 : Quantités	73
Figure 26 : Simulation 4 bis. Avec Taxe2 : Prix et marges.....	73

Bibliographie

- Indicateur Energie Domestique Niger, 1996. Enquête trafic bois-énergie Niamey, Zinder., Bulletin n°9: 3-14.
- Antona, M., Bousquet, F., Le Page, C., Weber, J., Karsenty, A., Guizol, P., 1998. Economic theory and renewable resource management, Sichman, Conte and Gilbert (eds) Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation *Lecture Notes in Artificial Intelligence* : 111-124 volume 1534 December 1998 Berlin, Springer-Verlag.
- Arthur W.B., Durlauf S.N., Lane D., 1997 Process and Emergence in the Economy, introduction, In Arthur W.B., Durlauf S.N., Lane D.A. (ed.) : *The Economic as an evolving complex System II*, Santa Fe Institute studies in the science of complexity, Perseus Books, : 1-15.
- Axelrod R., 1984. *The evolution of cooperation*, New-York, Basic Books ; trad. française, 1992. Donnant-donnant : théorie du comportement coopératif, Editions O. Jacob, Paris, 235 p.
- Barbier et Burgess, 1996. Economic analysis of déforestation in Mexico. *Environnement and Development Economics*, 1 : 203-239.
- Barde J.P. , 1992. *Economie et politiques de l'environnement*, Paris, Puf, 2^{ème} ed.
- Berkes F, Feeny D. McCay B.J., Acheson J.M., 1989. The benefits of the commons, *Nature*, 340, Juillet, 91-93.
- Bertrand A., 1995. Nouvelle Politique forestière et marchés ruraux du bois énergie au Niger : le transfert de la gestion locale des ressources ligneuses aux communautés rurales, *Cahiers Agricultures*, 4 : 185-193.
- Bertrand A. et Madon G, 1995. Les marchés ruraux du bois de feu au Niger et l'autogestion locale des ressources naturelles, la problématique et les leçons actuelles de l'expérience, Cirad SEED, *Rapport technique projet Energie II*, Volet Offre, 179p.
- Bousquet F., Barreteau O., Le Page C., Mullon C., Weber J., 1999. An environmental modelling approach : the use of multi-agent simulations, in Blasco and Weill (eds). *Advances in environmental modelling*, Elsevier : 113-122.
- Bousquet F., 1996. "Usage des ressources naturelles et modélisation des représentations : une approche par les systèmes multi-agents." In *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*, journées du Programme Environnement, Vie et Société du CNRS, Session B, Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris : 123-128.
- Bromley D.W., Cernea M.M., 1989 : The management of common property natural resources : some conceptual and operational fallacies, *World Bank Discussion Paper* 57, 66 p.
- Bromley D.W., 1990 : the ideology of efficiency , searching for a theory of policy analysis. *Journal of environmental Economics and Management*, 19 : 86-107
- Buttout, G., 1998. La crise du bois de feu en Afrique de l'Ouest, *Afrique contemporaine*, 148 : 34-41.
- CIRAD & SEED, 1996. Projet Energie II. Bilan de 7 années de mise en œuvre de la Stratégie Energie Domestique, *rapport interne*, Volet Offre, 17 p.
- Cheung, N.S., 1970. The structure of the contract and the theory of a non exclusive resource. *Journal of Law and Economics*, 13 : 49-70

- Chomitz K.M., Gray D.A., 1996. Roads, lands, markets, and deforestation, a spatial model of land use in Belize. *World Bank Economic review*, 10 : 487-512.
- Chomitz K.M., Griffiths C., 1997. An economic analysis of fuelwood management in the Sahel, the case of Chad. *Policy Research Working Paper n°1788*. World Bank, Washington DC.
- Clark C.W., 1991. Renewable resources in Eatwell J., Milgate M. , Newman. J (eds.), *The New Palgrave, a Dictionary of Economics*, MacMillan, London.
- Coase R.H. , 1960. The probleme of social cost. *Journal of Law and Economics*, 3(6) : 1-44.
- Costanza R., Farber S.C., Maxwell J., 1989. Valuation and management of wetland systems, *Ecological Economics*, 1 : 333-361.
- Crutchfield, J.A., 1972. Economic and political objectives in fishery management, In *World fishes Policy : multidisciplinary views*. Rostschild B.J. (ed.), University of Washington Press, London : 74-89.
- Dales J.H., 1968. *Pollution, Property and Prices. An Essay on Policy Making and Economics*. Univesity of Toronto press, Toronto.
- Dangbenon C., 1998 : *Platforms for resource management, Case studies of success or failures in Benin and Burkina-Faso*, Thèse Wageningen, Hollande, 309 p.
- Dasgupta P..S.et Heal G.M., 1979. *Economic theory and exhaustible resources*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- D'Herbes J.M., Ambouta J.M.K., Peltier R., 1997. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*, John Libbey Eurotext, Paris, 274 p.
- Deacon R.T., 1995. Assessing the relationship between government policy and deforestation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 28 : 1-18.
- Deacon R. T. 1999. Déforestation and ownership, *Land economics* vol 75 (3) : 341-360.
- Doran J. 2000. Agent- based Modelling of decentralisation and sustainable resource management, Colloque modelling agents in natural resource and environmental management, CIRAD-ENSAM, Montpellier, Mars 2000.
- Epstein J.M., Axtell R., 1996. Growing artificial societies. Social science from the bottom-up. Washington DV., Brooking Institution Press; Cambridge, MIT Press
- Faysse N., Michel C., Pires J.C., Solé J., 1997. *L'écocertification des bois tropicaux, un outil durable ?* Montpellier, Tge Fngref, Cirad-Green, 65 p.
- Fisher A.C., 1987. Natural resources in J. Eatwell, M. Milgate, P. Newman (Eds). *The new Palgrave : A dictionary of economics*, London, MacMillan : 612-614
- Foley G, Floor W., Madon G. et al. 1997. The Niger Household Energy Project. Promoting rural fuelwood markets and village management of natural woodlands, *World Bank Technical Paper n° 362*, Energy Series, 103 p.
- Géniaux S., 1999 : *Evaluation et régulation des impacts environnementaux*, Thèse de doctorat en Sciences Economiques, Université de la Méditerranée, 298 p.

- Gilbert G.N., Troitzsch K.G., 1999. *Simulation for the social scientist*. Open University Press, 100 p.
- Godard O. 92a. La science économique face à l'environnement : la « résilience d'une discipline in M. Jollivet (Ed.) *Sciences de la Nature, Sciences de la Société : les passeurs de frontière*, Editions du CNRS, Paris, 590 p.
- Godard O., 1998. Les instruments des politiques dans les économies en transition.
- Godard O. et Salles J.M., 1991. Entre nature et société. Les jeux de l'irréversibilité dans la construction économique et sociale du champs de l'environnement, in Boyer R., Chavance B., Godard O., (eds.). *Les figures de l'irréversibilité en économie*. Editions de l'EHESS, Paris.
- Gordon H.S., 1954. The economic theory of a Common Property Resource : the Fishery. *Journal of Political Economy*, 62 : 124-142.
- Grut M., Gray J.A., Egli N., 1991. Politique de redevance et de concessions forestières. Gestion des futaies en Afrique Occidentale et Centrale. Washington DC, Usa, Série du Département technique du Bureau Régional Afrique, *Document technique de la Banque Mondiale* n° 143, 74p.
- Guerrien, B. 1996. *Dictionnaire d'analyse économique*, Paris, La Découverte, Collection Repères, 540p.
- Henri C. 1990. Efficacité économique et impératifs éthiques : l'environnement en copropriété. *Revue Economique* 2 : 195-214
- Holland J.H., Miller J.H. 1991. Artificial adaptive Agent in economic Theory. *AEA papers and proceedings*, may 1991 : 365-370.
- Hyde W.F., Sedjo R.A., 1992. Managing tropical forests : reflection on the rent distribution discussion, *Land Economics*, 68(3) : 343-350.
- Jager W. 2000. *Modelling Consumer Behavior*, thèse en sociologie, Université de Groningen, Pays-Bas, 226 p. [http : \www.Docserver.ub.rug.nl/eldoc/dis/ppsw/w.jager](http://www.Docserver.ub.rug.nl/eldoc/dis/ppsw/w.jager).
- Kirman A., 1997. The economy as an interactive system, In Arthur W.B., Durlauf S.N., Lane D.A. (ed.) : *The Economic as an evolving complex System II*, Santa Fe Institute studies in the science of complexity, Perseus Books, : 491-533.
- Kaimowitz D., Angelsen A. , 1998. *Economic models of tropical deforestation*, CIFOR, Bogor, 139 p.
- Laurans Y., 1996. Modèles économiques de la coopération internationale pour la prévention de l'effet de serre, *NSS*, 4(2) : 116-130.
- Leach G., Fairhead J., 1988. *Beyond the fuelwood crisis*. London, Earthscan.
- Le Bris E., Le Roy E., Mathieu P. (dirs), 1991. *L'appropriation de la terre en Afrique Noire : manuel d'analyse, de décision et de gestion foncière*, Paris, Karthala, 369 p.
- Ludwig K., Hilborn R., Walters C., 1993. Uncertainty, Resource Exploitation and Conservation :Lessons from History. *Science*, avril 1993, vol 260: 17-18.
- Madon G., Matly M., 1988. Conservation et substitution du bois-énergie à usage domestique au Niger, *rapport technique Banque Mondiale*, 64 p.

- Mahamane E. H. L., Montagne P., Bertrand A., Babin D., 1995. La création de nouveaux communs comme outils de développement rural local : l'exemple des marchés ruraux de bois-énergie au Niger., Fifth Annual Common Property Conference, 24-28 mai 1995, Bodo, Norvège, 16 p.
- Matly M., 2000. Mort annoncée du bois-énergie à usage domestique, *Bois et forêts des tropiques* (sous presse). 12 p.
- Montagne P., 1995. Les marchés ruraux de bois énergie. Outils de développement rural local. Atelier Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens, Niamey, 20-24 novembre 1995, p. in D'Herbes J.M., Ambouta J.M.K., Peltier R. (Eds), 1997. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*, John Libbey Eurotext.
- Montagne P., Bertrand A., Babin D., 1994. Rural markets of wood energy in Niger : subsidiarity, planning and democracy for viable development, International Conference of the International Society for Ecological Economics, 24-28 octobre 1994, San-José, Costa-Rica, 14 p.
- Nowak M., May R., 1992. Evolutionary games and spatial chaos. *Nature*. octobre Vol 359 n° 6398 : 826-829.
- OCDE, 1992 : *Les défaillances du marché et des gouvernements dans la gestion de l'environnement, les zones humides et les forêts*, OCDE, Paris, 89p.
- Ostrom, 1990. *Governing the commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press, 280 p.
- Passet R., 1979. *L'économie et le vivant*, Paris, Payot, Paris.
- Pearce D.W., Brown K. 1994. Saving the world's tropical forests in Brown K., Pearce D. (eds). *The causes of tropical deforestation, the economic and statistical analysis of factors giving rise to the loss of tropical forests*, 2-26. University College London Press, London.
- Pearce D.W., Turner R.K., 1990. *Economics of Natural Resources and the Environment*. Harvester Wheatsheaf, Herst.
- Peltier R., Lawali E.M., Montagne P., 1994. Aménagement villageois des brousses tachetées au Niger, 1^{ère} partie – le milieu : potentiel et contraintes, *Bois et Forêts des Tropiques*, 242 : 59-76.
- Peltier R., Lawali E.M., Montagne P., 1994. Aménagement villageois des brousses tachetées au Niger, 2^{ème} partie – les méthodes de gestion préconisées, *Bois et Forêts des Tropiques*, 243 : 5-24.
- Peltier R., Bertrand A., Lawali E. M., Madon G. Montagne P. 1995. Marchés ruraux du bois énergie au Sahel, *Bois et forêts de tropiques*, n° 245 : 75-89.
- Pigou A.C., 1920. *Economics of welfare*, 4th edition, Macmillan, London, 1932.
- Point P., 1990. Introduction au numéro spécial Economie de l'environnement et du patrimoine naturel, *Revue Economique*, Mars 1990, 41 (2) : 181-194.
- Projet Energie II, 1996. Bilan de 7 ans de mise en œuvre de la stratégie Energie Domestique in Propositions pour une seconde phase de mise en œuvre, Octobre 1996, CIRAD-SEED, 15 p.
- Ribardiere A, 1998. *L'approvisionnement de Niamey en bois de chauffe*, Mémoire de maîtrise, Université Paris I- Panthéon Sorbonne, 108 p.

- Repetto R., Gillis M. (eds), 1988. *Public policies and the misuse of forest resources*. WRI, Cup, Washington.
- Reveret J.P., 1991. *La pratique des pêches*, L'Harmattan, Paris, 198 p.
- Romagny B., 1996. *Développement durable, bioéconomie et ressources renouvelables. Réflexion sur les modes d'appropriation et de gestion des ressources : une remise en cause de la formalisation de la « tragédie de l'accès libre » par le dilemme du prisonnier.*, Thèse de doctorat en sciences économiques, Université de Nice-Sophia Antipolis, 366 p.
- Rouchier J., Bousquet F., Barreteau O., Le Page C., Bonnefoy J.-L., 2000 (a). (sous presse). Multi-agent modelling and renewable resources issues : the relevance of shared representations for interactiong agents. MABS 2000, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*
- Rouchier J., Bousquet F., Requier-Desjardins M., Antona M., 2000 (b). (sous presse). A multi-agent model for transhumance in North Cameroon, *Journal of Economic Dynamics and Control*
- Rouchier J. 1999. *La confiance à travers l'échange. Accès aux paturages au Nord-Cameroun et échanges non-marchands : des simulations dans des systèmes multi-agents*. Thèse en Environnement, Université d'Orléans, 371 p.
- Scott A.D., 1955. The Fishery : the objective of sole ownership. *Journal of Political Economy*, 63 : 116-124.
- Sow H. , 1990. *Le bois-énergie au Sahel, environnement et développement*, Paris, Kathala, 176 p.
- Unemo, L. 1995. Environmental impacts of governmental policies and externalities shocks in Botswana : A Computable General Equilibrium approach in Perrings, C.A., Maler K.-G. Folke C., Holling C.S. & Jansson (eds.). *Biodiversity conservation* : 195-214. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Von Amsberg, J.A., 1998. Economic parameters of deforestation, *The World Bank Economic Review*, vol 12. N°1. reproduit dans *Problèmes Economiques*, dec. 1998, n° 2596 : 7-12.
- Walliser B, 2000. *L'économie cognitive*, Paris, Odile Jacob, 258 p.
- Weber J. , Betsch J.M., Cury P., 1990 : A l'interface hommes-nature, les ressources renouvelables, Colloque recherche et Environnement, CNRS-PIREN, Strasbourg, 24-25 spt. 1990.
- Weber J., 1992. Environnement, développement et propriété. Une approche épistémologique in Prades J., Vaillancourt G. (eds). *Environnement, Développement, Ethique*, Montreal, Fides.
- Weber, 1995. Peut-on gérer biologiquement le social ? Conférence de l'IFPRA, Décentralisation et gestion des ressources renouvelables, Harare, Zimbabwe. 15 p.
- World Bank, 1996. *Rural Energy and development, Improving energy supply for two billion people*, Développement in practice series, Washington, IBRD- The World Bank, 118 p.